

**LAPORAN**  
**PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI**  
**(PEKERTI)**



**KARAKTERISTIK PRODUK PIROLISIS DARI SEKAM PADI,**  
**TONGKOL JAGUNG, DAN SERBUK GERGAJI KAYU JATI**  
**MENGUNAKAN KATALIS ZEOLIT**

Dibiayai oleh Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wilayah VI,  
Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan RI,  
Sesuai Dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian  
Nomor: 007/K6/KL/SP/PENELITIAN/2014, tanggal 8 Mei 2014

<b>Emi Erawati, S.T., M.Eng.</b>	<b>06-0201-7804</b>
<b>Eni Budiati, S.T., M.Eng.</b>	<b>06-0101-7302</b>
<b>Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, S.U., Ph.D.</b>	<b>00-1709-5302</b>

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**  
**NOVEMBER 2014**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI**

**Judul Kegiatan** : Karakteristik Produk Pirolisis dari Sekam Padi, Tongkol Jagung dan Serbuk Gergaji Kayu dengan Menggunakan Katalis Zeolit

**Kode>Nama Rumpun Ilmu** : 433 / Teknik Kimia

**Bidang Unggulan PT** : Penanganan Pencemaran Lingkungan

**Topik Unggulan** : Teknologi pemanfaatan dan pengolahan limbah

**Ketua Peneliti**

A. Nama Lengkap : EMI ERAWATI

B. NIDN : 0602017804

C. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli

D. Program Studi : Teknik Kimia

E. Nomor HP : 081329574951

F. Surel (e-mail) : emisupriyono@gmail.com

**Anggota Peneliti (1)**

A. Nama Lengkap : ENI BUDIYATI ST, M.Eng

B. NIDN : 0601017302

C. Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

**Ketua TPM**

A. Nama Lengkap : WAHYUDI BUDI SEDIWAN

B. NIDN : 0017095302

C. Jabatan Fungsional : Guru Besar

D. Nama Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS GADJAH MADA

E. Program Studi : Ilmu Teknik Kimia

**Lama Penelitian Keseluruhan** : 2 Tahun

**Penelitian Tahun ke** : 1

**Biaya Penelitian Keseluruhan** : Rp 170.000.000,00

**Biaya Tahun Berjalan** :

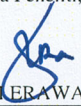
- diusulkan ke DIKTI	Rp 90.000.000,00
- dana internal PT	Rp 0,00
- dana institusi lain	Rp 0,00
- inkind sebutkan	

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik UMS  
  
(Ir. Agus Riyanto, MT)  
NIP/NIK 483



Menyetujui,  
Ketua LPPM UMS  
  
(Prof. Dr. Harun Joko Prayitno)  
NIP/NIK 132049998



Surakarta, 26 - 4 - 2013,  
Ketua Peneliti,  
  
(EMI ERAWATI)  
NIP/NIK989

## KATA PENGANTAR

Syukur dan taslim kepada Allah SWT atas kekuatan pikir dan dzikir sehingga penulis diberikan kekuatan dan kemudahan dalam menyelesaikan Laporan Hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (Hibah Pekerti) dengan judul “Karakteristik Produk Pirolisis Dari Sekam Padi, Kayu Glugu, Dan Kayu Jati Dengan Menggunakan Katalis Zeolit”

Penulis menyadari dalam proses penulisan Laporan Hibah Pekerti ini tidak lepas dari segala bantuan, arahan, dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Oleh karenanya izinkanlah penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat:

1. Agus Ulinuha, Ph.D. selaku Ketua LPPM Universitas Muhammadiyah Surakarta
2. Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
3. Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, S.U., Ph.D. selaku Ketua Tim Peneliti Mitra (TPM) dari Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
4. Wawan Kurniawan, Alip Isnu Aji Perwita, dan Yudha Riski Kuncoro yang telah membantu selama penelitian

Semoga segala bantuan yang telah diberikan dari berbagai pihak tersebut, tercatat sebagai suatu amal kebaikan dan mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Hibah Pekerti ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan



penulisan laporan ini. Penulis berharap semoga hasil penelitian ini akan memberikan manfaat bagi dunia pendidikan.

Surakarta, November 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
RINGKASAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Manfaat Penelitian.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Bahan Baku Pirolisis .....	3
2.2.1 Kayu Jati .....	3
2.2.2 Sekam Padi.....	6
2.2.3 Kayu Glugu.....	8
2.2 Pirolisis .....	10
2.2.1 Pengertian Pirolisis .....	10
2.2.2 Produk Pirolisis.....	12
BAB III METODE PENELITIAN .....	20
3.2 Variabel Penelitian .....	22
3.3 Analisis Bahan Baku dan Produk .....	22
3.3.1 Analisis Bahan Baku.....	22
3.3.2 Analisis Produk.....	23
4.1 Hasil Penelitian.....	26
4.1.1 Sifat-sifat Fisik Asap Cair dari Kayu Jati .....	26
4.1.2 Sifat-sifat Fisik Asap Cair dari Kayu Glugu.....	28

4.1.3 Sifat-sifat Fisik Asap Cair dari Sekam Padi .....	28
4.2 Pembahasan .....	32
4.2.1 Hasil GC-MS Asap Cair dari Kayu Jati .....	32
4.2.2 Hasil <i>GC-MS</i> Asap Cair dari Kayu Glugu .....	38
4.2.3 Hasil GC-MS Asap Cair dari Sekam Padi .....	45
4.2.4 <i>Yield</i> Produk Pirolisis .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat-Sifat Kayu Jati .....	4
Tabel 2 Komposisi Sekam Padi.....	7
Tabel 3 Komposisi Kayu Glugu.....	9
Tabel 4 Komposisi Rata-Rata dari Total Gas yang Dihasilkan pada Proses Karbonisasi Kayu .....	11
Tabel 5 Perbandingan Harga <i>High Heating Value</i> Beberapa Bahan ( %berat)....	13
Tabel 6 Komposisi Asap cair .....	14
Tabel 7 Sifat-Sifat Fisik Asap Cair .....	14
Tabel 8 Perbandingan Nilai Panas Pembakaran Berbagai Asap Cair .....	15
Tabel 9 Perbedaan Sifat-Sifat <i>Bio-Oil</i> dengan Solar .....	15
Tabel 10 Sifat-Sifat <i>Bio-Oil</i> , <i>Light Fuel Oil</i> , dan <i>Heavy Fuel Oil</i> .....	16
Tabel 11 Karakteristik Asap Cair Kayu Pinus pada Berbagai Suhu Pirolisis .....	17
Tabel 12 Komposisi Asap Cair Hasil Pirolisis Kayu Pinus Hasil Deteksi <i>GC-MS</i> .....	17
Tabel 13 Hasil Pirolisis Variasi Jenis Katalis.....	18
Tabel 14 Jenis Analisis pada Asap Cair .....	23
Tabel 15 Nilai Densitas, pH, Viskositas, Warna dan Kandungan Air Asap Cair pada Variasi Suhu Pemanasan.....	26
Tabel 16 Nilai Densitas, pH, Viskositas, dan Warna Asap Cair Variasi Perbandingan Zeolit.....	27
Tabel 17 Nilai Densitas, pH, Viskositas, Warna, Kandungan Air pada Variasi Suhu Pemanasan .....	28
Tabel 18 Nilai Densitas, pH, Viskositas Warna, dan Kandungan Air pada Variasi Perbandingan Katalis.....	28
Tabel 19 Nilai Densitas, pH, dan Viskositas pada Variasi Suhu.....	29
Tabel 20 Nilai Densitas, pH, dan Viskositas pada Variasi Massa Sekam dan Zeolit.....	29
Tabel 21 Gas Hasil Pirolisis Kayu Jati, Sekam Padi dan Kayu Glugu.....	31
Tabel 22 <i>Yield</i> pada Berbagai Bahan Baku .....	32

Tabel 23 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 400°C.....	32
Tabel 24 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 450°C.....	33
Tabel 25 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 500°C.....	35
Tabel 26 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 550°C.....	36
Tabel 27 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 600°C.....	37
Tabel 28 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 400°C .....	39
Tabel 29 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 450°C .....	40
Tabel 30 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 500°C .....	41
Tabel 31 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 550°C .....	43
Tabel 32 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 600°C .....	44
Tabel 33 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 400°C.....	45
Tabel 34 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 450°C.....	46
Tabel 35 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 500°C.....	47
Tabel 36 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 550°C.....	49
Tabel 37 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 600°C.....	50
Tabel 38 <i>Yield</i> Variasi Suhu pada Berbagai Bahan Baku .....	52
Tabel 39 <i>Yield</i> Variasi Perbandingan Katalis pada Berbagai Bahan Baku .....	54



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pengaruh Katalis Terhadap Suhu Reaksi, Waktu Reaksi, dan Volume Produk yang Dihasilkan .....	19
Gambar 2 Rangkaian Alat Pirolisis .....	21
Gambar 3 Asap Cair Kayu Jati pada Variasi Suhu.....	26
Gambar 4 Asap Cair Kayu Jati pada Variasi Perbandingan Katalis.....	27
Gambar 5 Asap Cair Hasil Pirolisis Sekam Padi pada Variasi Suhu .....	29
Gambar 6 <i>Yield</i> Asap cair pada Kayu Jati, Sekam Padi, dan Kayu Glugu pada Variasi Suhu .....	53
Gambar 7 <i>Yield</i> Gas pada Serbuk Kayu Jati, Sekam Padi, dan Glugu Pada Variasi Suhu.....	53
Gambar 8 <i>Yield Char</i> pada Serbuk Kayu Jati, Sekam Padi, dan Glugu Pada Variasi Suhu .....	54
Gambar 9 <i>Yield</i> Asap Cair Variasi Perbandingan Katalis .....	55
Gambar 10 <i>Yield Char</i> Variasi Massa Katalis.....	56
Gambar 11 <i>Yield</i> Gas Variasi Massa Katalis.....	56

## RINGKASAN

Menurut BPS (2009), Indonesia memiliki sawah seluas 12,84 juta hektar yang menghasilkan padi sekitar 63,84 juta ton. Kadar sekam padi terhadap berat padi keseluruhan sekitar 15 - 20%. Ini berarti limbah sekam padi yang dihasilkan bangsa Indonesia sekitar 8,2 – 10,9 ton/tahun. Berdasarkan data dari Perum Perhutani Jawa Tengah, mengatakan bahwa produksi kayu jati di Jawa Tengah keadaan Februari Tahun 2011 adalah sebesar 35.654 m<sup>3</sup>. Produksi kayu jati untuk wilayah Surakarta sebesar 2.500 m<sup>3</sup>. Berdasarkan uraian di atas potensi limbah yang besar dari serbuk sekam padi, serbuk gergaji kayu jati dan kayu glugu ini hanya sedikit yang baru dimanfaatkan secara optimal. Karenanya peneliti tertarik untuk melakukan penelitian karakteristik produk pirolisis dari serbuk sekam padi, serbuk gergaji kayu jati, dan kayu glugu dengan menggunakan katalis zeolit.

Pada penelitian tahun pertama akan dilakukan pirolisis dari kayu jati, sekam padi, dan glugu. Penelitian dimulai dengan *me-design* dimensi alat pirolisis, melakukan penelitian pendahuluan. Dari penelitian tahun pertama ini akan diperoleh hasil pirolisis dari masing-masing bahan yang terdiri dari *asap cair* dan *bio-char*. Setelah penelitian selesai dilakukan uji sifat fisik dan kimia dari *asap cair* dan *bio-char* tersebut. Uji terdiri dari uji massa jenis, viskositas, pH, komposisi, dan warna serta nilai kalor.

Berdasarkan penelitian *yield* asap cair tertinggi sebesar 44,75% pada pirolisis sekam padi pada suhu 600°C sedangkan pada variasi perbandingan katalis diperoleh *yield* sebesar 44,74% pada perbandingan sekam padi : zeolit = 1 : ¼. *Yield char* tertinggi sebesar 58,14% pada pirolisis kayu glugu pada suhu 450°C sedangkan pada variasi perbandingan katalis diperoleh *yield* sebesar 64,87% pada perbandingan kayu jati dan kayu glugu: zeolit = 1 : 1/8. *Yield* gas tertinggi sebesar 24,50% pada pirolisis kayu jati pada suhu 450°C sedangkan pada variasi perbandingan katalis diperoleh *yield* sebesar 30,35% pada perbandingan sekam padi : zeolit = 1 : 1. Kadar CO<sub>2</sub> tertinggi sebesar 35,6625% pada pirolisis kayu glugu. Senyawa terbanyak pada asap cair adalah asam asetat (25,71%), asam metakrilat 24,91%, dan krotanaldehida (21,39%).

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bahan makanan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia adalah beras. Menurut BPS (2009), Indonesia memiliki sawah seluas 12,84 juta hektar yang menghasilkan padi sekitar 63,84 juta ton. Kadar sekam padi terhadap berat padi keseluruhan sekitar 15 - 20% (Widowati, 2001). Ini berarti limbah sekam padi yang dihasilkan bangsa Indonesia sekitar 8,2 –10,9 ton/tahun. Produksi jagung di Indonesia setiap tahunnya menunjukkan peningkatan. Menurut Biro Pusat Statistik (BPS), angka produksi jagung tahun 2004 mencapai 11,2 juta ton. Tahun 2005 meningkat menjadi 12,5 juta ton, tahun 2006 mencapai 12,13 juta ton. Tahun 2007 produksinya mencapai 14 juta ton. Disamping itu, tingkat konsumsi jagung pada tahun 2006 sekitar 3,5 juta ton, sedangkan tahun 2007 diperkirakan mencapai 4,1 juta ton (BPS 2007). Banyaknya buah jagung yang dikonsumsi menyebabkan bertambahnya limbah tongkol jagung yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Jati (*Tectona grandits*) merupakan salah satu spesies pohon komersial yang memiliki nilai jual tinggi karena telah dikenal sebagai bahan baku plywood, lantai, furnitur dan kerajinan. Di pulau Jawa, sebagian besar pohon jati diproduksi oleh Perhutani. Sekitar 512 ribu m<sup>3</sup> kayu jati dihasilkan oleh Perhutani pada tahun 2007 dan sebanyak 200 ribu m<sup>3</sup> kayu jati kualitas menengah telah dijual oleh perusahaan ini. Selain Perhutani, ribuan petani juga menanam jati meskipun total produksinya tidak terdokumentasi dengan baik. Sensus perdagangan nasional tahun 2003 menunjukkan bahwa 80 juta pohon jati berada di lahan rakyat. Berdasarkan data dari Perum Perhutani Jawa Tengah, mengatakan bahwa produksi kayu jati di Jawa Tengah keadaan Februari Tahun 2011 adalah sebesar 35.654 m<sup>3</sup>. Produksi kayu jati untuk wilayah Surakarta sebesar 2.500 m<sup>3</sup>.

Berdasarkan uraian di atas potensi limbah yang besar dari serbuk sekam padi, serbuk gergaji kayu jati dan kayu glugu ini hanya sedikit yang baru dimanfaatkan secara optimal. Karenanya peneliti tertarik untuk melakukan penelitian karakteristik produk pirolisis dari sekam padi, kayu glugu, dan kayu jati dengan menggunakan katalis zeolit.

## 1.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi ilmu pengetahuan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemanfaatan limbah sekam padi, kayu glugu, dan kayu jati sebagai asap cair dan *char*.
2. Bagi bangsa dan negara, penelitian ini diharapkan membantu pemerintah mengatasi permasalahan limbah berbasis biomassa.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Pada tahun pertama tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui persentase senyawa-senyawa dari asap cair dan gas hasil pirolisis sekam padi, kayu glugu, dan kayu jati.
2. Mengetahui sifat-sifat fisik asap cair dari pirolisis sekam padi, kayu glugu, dan kayu jati.
3. Mengetahui pengaruh variasi bahan baku, perbandingan katalis, dan suhu pada *yield* asap cair, *char*, dan gas hasil proses pirolisis sekam padi, kayu glugu, dan kayu jati.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahan Baku Pirolisis

#### 2.2.1 Kayu Jati

Kayu jati memiliki nama botani *Tectona grandis* L.f. Di Indonesia kayu jati memiliki berbagai jenis nama daerah yaitu delek, dodolan, jate, jatih, jatos, kiati, dan kulidawa. Kayu ini merupakan salah satu kayu terbaik di dunia. Pohon jati tumbuh baik pada tanah sarang terutama tanah yang mengandung kapur pada ketinggian 0-700 m di atas permukaan laut, di daerah dengan musim kering dan jumlah curah hujan rata-rata 1200-2000 mm per-tahun. Banyak terdapat di seluruh Jawa, Sumatra, Nusa Tenggara Barat, Maluku, dan Lampung. Pohon jati dapat tumbuh mencapai tinggi 45 m dengan panjang batang bebas cabang 15-20 m, diameter batang 50-220 mm, bentuk batang beralur, dan tidak teratur.

Kayu jati memiliki serat yang halus dengan warna kayu mula-mula sawokelabu, kemudian berwarna sawo matang apabila lama terkena cahaya matahari dan udara. Serat kayu memiliki arah yang lurus dan kadang-kadang terpadu, memiliki panjang serat rata-rata 1316  $\mu\text{m}$  dengan diameter 24,8  $\mu\text{m}$ , dan tebal dinding 3,3  $\mu\text{m}$ . Struktur pori sebagian besar soliter dalam susunan tata lingkaran, diameter 20-40  $\mu\text{m}$  dengan frekuensi 3-7 per- $\text{mm}^2$ . Karena sifat-sifatnya, kayu jati merupakan jenis kayu yang paling banyak dipakai untuk berbagai keperluan. Pada industri pengolahan kayu, jati diolah menjadi kayu gergajian, *plywood*, *blackbord*, dan *particleboard*. Ada beberapa sifat kayu yang perlu dipahami untuk pertimbangan dalam penentuan jenis kayu yang akan digunakan. Menurut Fengel and Wengener (1995) sifat-sifat kayu tersebut adalah sifat kimia, sifat fisik, sifat higroskopik, dan sifat mekanik kayu. Sifat-sifat kayu jati secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat-Sifat Kayu Jati

No	Sifat	Satuan	Nilai
1	Berat Jenis	kg/m <sup>3</sup>	0,62-0,75 (rata-rata 0,67)
2	Kadar Selulosa	%	47,5
3	Kadar Lignin	%	29,9
4	Modulus Elastis	kg/mm <sup>3</sup>	127700
5	Kadar Pentosa	%	14,4
6	Kadar Abu	%	1,4
7	Kadar Silika	%	0,4
8	Serabut	%	66,3
9	Kelarutan dalam alkohol benzena	%	4,6
10	Kelarutan dalam air dingin	%	1,2
11	Kelarutan dalam air panas	%	11,1
12	Kelarutan dalam NaOH 1%	%	19,8
13	Kadar air saat titik jenuh serat	%	28
14	Nilai Kalor	kal/g	5081
15	Kerapatan	kal/g	0,44

Serbuk gergaji merupakan limbah dari industri penggergajian berupa butiran kayu, sedetan, dan potongan-potongan kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Kartono (1992) dalam Wijaya (2008), menyatakan bahwa rata-rata limbah yang dihasilkan oleh industri penggergajian adalah 49,15%, dengan perincian serbuk gergaji sebesar 8,46%, sedetan sebesar 24,41%, dan potongan-potongan kayu sebesar 16,28 %.

Kayu jati merupakan kayu serba guna, umumnya digunakan untuk berbagai keperluan seperti *furniture* dan perkakas, selain itu serbuk gergajinya dapat pula digunakan sebagai bahan pembuat briket dan juga sebagai zat penyerap. Serbuk gergaji kayu merupakan limbah industri kayu yang ternyata dapat digunakan sebagai zat penyerap logam berat.

Kayu jati sebagian besar tersusun atas tiga unsur yaitu unsur C, H, dan O. Unsur-unsur tersebut berasal dari udara berupa CO<sub>2</sub> dan dari tanah berupa H<sub>2</sub>O. Namun, dalam kayu juga terdapat unsur-unsur lain seperti N, P, K, Ca, Mg, Si, Al, dan Na. Unsur-unsur tersebut tergabung dalam sejumlah senyawa organik, secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian (Fengel dan Wegener, 1995) yaitu:

1. Komponen lapisan luar yang terdiri atas fraksi-fraksi yang dihasilkan oleh kayu selama pertumbuhannya. Komponen ini sering disebut dengan zat ekstraktif. Zat ekstraktif ini adalah senyawa lemak, lilin, resin dan lain-lain.
2. Komponen lapisan dalam terbagi menjadi dua fraksi yaitu fraksi karbohidrat yang terdiri atas selulosa dan hemiselulosa, fraksi non karbohidrat yang terdiri dari lignin

Kandungan kimia kayu jati adalah selulosa 47,5%, lignin 29,9 %, dan zat lain (termasuk zat gula) 12%. Dinding sel tersusun sebagian besar oleh selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ). Lignin adalah suatu campuran zat-zat organik yang terdiri dari zat karbon (C), zat air ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ). Serbuk gergaji kayu mengandung komponen utama selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat ekstraktif kayu.

Lignin mempunyai ikatan kimia dengan hemiselulosa, bahkan ada indikasi mengenal adanya ikatan-ikatan antara lignin dan selulosa. Ikatan-ikatan tersebut dapat berupa tipe ester atau eter, diusulkan bahwa ikatan-ikatan glikosida merupakan penyatu lignin dan polisakarida. Treatment yang pada dasarnya bias menghilangkan semua lignin adalah dengan menggunakan zat penyoksil, dimana zat tersebut akan mengakibatkan lignin meninggalkan komponen karbohidra yang tidak terpecahkan atau terlarut menjadi preparat yang disebut holoselulosa. *Treatment* deligrifikasi ini bisa menggunakan agregat penghilang lain yang kurang lebih efektif untuk menghilangkan lignin adalah asam nitrat, asam parasetic, peroksides, dan larutan alkali panas (Fengel dan Wegener, 1995).

Selulosa merupakan homopolisakarida yang tersusun atas unit-unit  $\beta$ -D-glukopiranosida yang terikat satu sama lain dengan ikatan-ikatan glikosida. Molekul-molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hidrogen intra dan intermolekul.

Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang dibentuk melalui jalan biosintesis yang berbeda dari selulosa. Lignin merupakan polimer dari unit-unit fenil propana. Banyak aspek dalam kimia lignin yang masih belum jelas, misalnya ciri-ciri struktur spesifik lignin yang terdapat dalam berbagai daerah morfologi dari xylem kayu.

### 2.2.2 Sekam Padi

Tanaman padi merupakan tanaman semusim yang termasuk golongan rumput-rumputan (*Graminae*) dengan klasifikasi sebagai berikut:

Genus : *Oryza Linn*  
Famili : *Gramineae (poaceae)*  
Spesies : *Oriza sativa L dan Oryza glaberima steund*

Sedangkan sub spesies *Oryza sativa L* adalah *Indica* (pada bulu) dan *Sinica* (padi cere) dahulu padi Japonica.

Padi merupakan kebutuhan bahan pokok terbesar bagi masyarakat. Dari penggilingan padi biasanya dihasilkan 20% sekam, 65% beras, dan 15% hilang dari bagian yang diambil beras. Sekam padi mempunyai kandungan karbohidrat yang tinggi. Senyawa karbohidrat mengandung selulosa dengan rumus kimia  $C_6H_{10}O_5$ . Komposisi sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Sekam Padi

No	Komponen	% Berat
1.	Air	2,4-11,35
2.	Crude protein	1,7-7,26
3.	Crude karbohidrat	3,042-45,92
4.	Ekstrak nitrogen berat	24,7-38,79
5.	<i>Crude fiber</i>	31,37-49,92
6.	Abu	13,16-29,01
7.	Selulosa	34,34-43,80
8.	Lignin	21,40-46,97

Adapun pemanfaatan sekam padi di bidang industri adalah :

a. Sumber Silika

Sekitar 20% silika dalam sekam padi merupakan suatu sumber silika yang cukup tinggi, silika dari sekam merupakan saingan dari sumber silika lain seperti pasir, bentonit, dan tanah diatomae tetapi biasanya silika dari sekam padi mempunyai keuntungan karena



jumlah elemen lain (pengotor) yang tidak diinginkan adalah sangat sedikit dibandingkan jumlah silikanya. Silika diperoleh dari pembakaran sekam padi untuk menghasilkan abu atau secara ekstraksi sebagai natrium – silikat dengan larutan alkali.

b. Pemurnian Air

Pemanfaatan sekam padi untuk menjernihkan air yaitu melalui proses filtrasi/penyaringan partikel, koagulasi, dan adsorpsi. Karbon yang terkandung di dalam sekam padi berfungsi sebagai koagulan pembantu dengan menyerap atau menurunkan logam-logam pada air yang tercemar.

c. Bahan Bakar

Pembakaran merupakan satu metode yang umum dan sering digunakan dalam proses akhir pengolahan sekam padi. Sekam padi yang dibakar secara langsung untuk meneruskan aliran uapnya atau digunakan di dalam generator untuk menghasilkan tenaga penguat dengan minyak yang memiliki nilai bahan bakar.

d. Bahan Bangunan

Di bidang bangunan sekam padi digunakan sebagai pengerasan balok, batu bata, ubin, dan batu tulis (Widowati, 2001).

### 2.2.3 Kayu Glugu

Pohon kelapa (*Cocos nucifera* L.) adalah tanaman perkebunan yang banyak tersebar di wilayah tropis. Produk utamanya adalah kopra, yang berasal dari daging buah yang dikeringkan. Secara keseluruhan, luas perkebunan kelapa di Indonesia mencapai sekitar 3,71 juta hektar pada tahun 1995, dan sekitar 50%-nya perlu peremajaan. Pohon kelapa yang telah ditebang akan menjadi limbah yang merugikan bagi perkebunan tersebut karena akan menjadi sarang bagi perkembangbiakan kumbang badak (*Oryctes rhinoceros*) yang termasuk hama utama perkebunan kelapa di sekitarnya. Namun, karena ketersediaan kayu yang semakin terbatas, batang kelapa mulai banyak dimanfaatkan sebagai pengganti kayu sehingga pembuangan limbah dapat dikurangi (Arancon, 1997).

Berikut ini nama ilmiah kelapa yang menggunakan bahasa latin yang ditetapkan berdasarkan sistem tata nama binomial (*Nomenklatur Binomial*). Nama latin kelapa adalah *Cocos nucifera* L dan tingkatan kklasifikasinya adalah sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i> (Tumbuhan)
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i> (Menghasilkan biji)
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i> (Tumbuhan berbunga)
Class	: <i>Liliopsida</i> (berkeping satu / monokotil)
Subclass	: <i>Arecidae</i>
Ordo	: <i>Arecales</i>
Famili	: <i>Arecaceae</i> (suku pinang-pinangan)
Genus	: <i>Cocos</i>
Spesies	: <i>Cocos nucifera</i> L.

Kayu kelapa mudah digergaji, apalagi ketika masih segar (basah). Selain itu kayu kelapa tidak rentan terhadap serangan serangga penggerek kayu. Tanpa pengawetanpun batang kayu kelapa akan tahan cukup lama bila diproteksi dari cuaca. Serbuk gergajian sebagai hasil limbah pemotongan kayu kelapa, oleh masyarakat digunakan sebagai bahan pembuatan kerajinan dan briket, atau kadang hanya ditimbun dan berpotensi menyebabkan pencemaran disekitar wilayah industri pengolahan.

Berbeda dengan kayu pada umumnya, batang kelapa memiliki sel pembuluh yang berkelompok (*vascular bundles*) yang menyebar lebih rapat pada bagian tepi dari pada bagian tengah serta pada bagian bawah dan atas batang. Hal itu mengakibatkan kayu gergajian kelapa memiliki kekuatan yang berbeda-beda. Batang kelapa memiliki keawetan yang rendah, mudah diserang organisme perusak kayu seperti jamur dan serangga. Bagian keras batang kelapa yang tidak diawetkan dan dipasang ditempat terbuka langsung berhubungan dengan tanah maksimum dapat bertahan tiga tahun. Sedangkan untuk bagian lunak hanya beberapa bulan saja (Palomar and Sulc, 1983) .

Menurut *Department of Employment, Economic Development and Innovation* (DEEDI) 2004; Arancon, 1997; Gibe, Z.C., 1985, komponen kimia yang terdapat dalam kayu kelapa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi Kayu Glugu

No	Komponen Kimia	Komposisi
1.	Abu nonorganik murni (%)	0,75 (0,25 – 2,4)

2. Silika (%)	0,07 (0,01 – 0,2)
3. Lignin (%)	25,1
4. Holocellulose (%)	66,7
5. Pentosans (%)	22,9
6. Starch (%)	4,3 – 4,6 (> 6 months old ; starch reduces with age)
7. pH	6,2

## 2.2 Pirolisis

### 2.2.1 Pengertian Pirolisis

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis. Secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi temperatur yang tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan. Baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis dilakukan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah destilasi kering. Proses pirolisis sangat banyak digunakan di industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol, dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengkonversi diklorida etilena menjadi vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengkonversi biomassa menjadi *syngas*, untuk mengubah sampah menjadi zat yang aman untuk dibuang, dan untuk mengubah hidrokarbon menengah-berat dari minyak menjadi lebih ringan, seperti bensin (Widjaya,1982).

Istilah lain dari pirolisis adalah *destructive distillation* atau destilasi kering, dimana merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Pada umumnya pirolisis dipengaruhi oleh waktu, kadar air bahan, suhu, dan ukuran bahan. Uraian lengkapnya sebagai berikut:

1. Kadar air umpan yang tinggi menyebabkan waktu pirolisis menjadi lama dan hasil cair menjadi rendah konsentrasinya, tetapi keaktifan arang akan meningkat karena uap air dapat berperan sebagai oksidator zat-zat yang melekat pada permukaan arang (Agra dkk, 1973).

2. Ukuran bahan terkait jenis bahan dan alat yang digunakan. Semakin kecil ukuran bahan luas permukaan per satuan massa semakin besar, sehingga dapat mempercepat perambatan panas keseluruh umpan dan frekuensi tumbukan meningkat misalnya serbuk gergaji cetak dipirolisis dengan diameter 1,5 cm (Budhijanto, 1993). Ukuran bahan juga berpengaruh terhadap kapasitas pengolahan.
3. Suhu proses yang tinggi akan menurunkan hasil arang, sedangkan hasil cair dan gas meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya zat-zat yang terurai dan teruapkan. Pirolisis serbuk gergaji kayu memerlukan suhu  $456^{\circ}\text{C}$  (Budhijanto, 1993).

Menurut Tahir (1992), pada proses pirolisis dihasilkan tiga macam penggolongan produk yaitu :

1. Gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi ini sebagian besar berupa gas  $\text{CO}_2$  dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  dan hidrokarbon tingkat rendah lain. Komposisi rata-rata dari total gas yang dihasilkan pada proses karbonisasi kayu disajikan pada Tabel 4 (Panshin,1950):

Tabel 4 Komposisi Rata-Rata dari Total Gas yang Dihasilkan pada Proses Karbonisasi Kayu

No	Komponen gas	Persentase (%)
1	Karbondioksida	50,77
2	Karbonmonoksida	27,88
3	Metana	11,36
4	Etana	3,09
5	Hidrogen	4,21
6	Hidrokarbon tak jenuh	2,72

2. Destilat berupa asap cair dan tar.



Komposisi utama dari produk yang tertampung adalah metanol dan asam asetat. Bagian lainnya merupakan komponen minor yaitu fenol, metil asetat, asamformat, dan asam butirat.

### 3. Residu (karbon).

Tempurung kelapa dan kayu mempunyai komponen-komponen yang hampir sama. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam kayu berbeda-beda tergantung dari jenis kayu. Pada umumnya kayu mengandung dua bagian selulosa dan satu bagian hemiselulosa, serta satu bagian lignin.

## 2.2.2 Produk Pirolisis

### 2.2.2.1. *Bio-Char*

*Bio-char* adalah hasil pirolisis yang berbentuk padat. *Bio-char* mempunyai komposisi yang berbeda-beda tergantung bahan baku yang digunakan. Menurut Mullen (2010) komposisi utama dari *bio-char* adalah karbon (85%), oksigen, dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar yang berasal dari fosil, *bio-char* mengandung bahan inorganik berupa abu. LHV dari *bio-char* sekitar 32 MJ/kg. Nilai LHV lebih tinggi daripada *asap cair* maupun biomassa (Basu, 2010).

*Bio-char* digunakan sebagai *metal adsorption*. Empat logam yang dapat diadsorpsi oleh *bio-char* adalah logam  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , dan  $\text{Zn}^{2+}$ . *Bio-char* dapat efektif mengadsorpsi Cu diikuti ion Zn, Cd, dan Ni. Selain sebagai *metal adsorption*, *bio-char* dapat digunakan sebagai energi yang dapat diperbaharui. Menurut Onay dan Kockar (2004), Yorgun dkk. (2000), Mullen dkk. (2010), Jensen dkk. (2001), dan Gercel (2002) harga *high heating value* dan komposisi *bio-char* untuk beberapa bahan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Harga *High Heating Value* Beberapa Bahan ( %berat)

No.	Bahan	HHV (MJ/kg)	C	H	O	N	S	Abu
1.	<i>Corn Cobs</i>	30,0	77,60	3,05	5,11	0,85	0,02	13,34
2.	<i>Corn Stover</i>	21,0	57,29	2,86	1,47	0,15	0,15	32,78
3.	<i>Straw</i>	16,20	40,90	5,20	35,50	0,70	0,09	3,70
4.	<i>Sunflower-oil cake</i>	15,85	75,40	1,70	19,50	3,40	-	-

5.	<i>Char</i>	22,80	70,10	2,50	8,20	0,80	-	18,5
----	-------------	-------	-------	------	------	------	---	------

### 2.2.2.2 Bio-Oil

*Bio-oil* adalah senyawa anorganik yang merupakan cairan yang diproduksi melalui proses pirolisis (Bouchera dkk., 2000). Cairan yang berasal dari proses pirolisis diberi nama dengan cara yang berbeda-beda. Ada yang menyebut cairan pirolisis, minyak pirolisis (*pyrolysis oil*), asap cair, cairan kayu (*wood liquids*), minyak kayu (*wood oil*), *bio-crude-oil*, *bio-fuel-oil*, *liquid smoke*, *wood distillates*, *pyroligneous tar*, *pyroligneous acid*, dan *liquid wood*.

*Bio-oil* mempunyai standar warna dari hijau gelap sampai dengan merah gelap mendekati hitam tergantung dari bahan dan proses yang digunakan untuk mendapatkan produk. Asap cair tersusun dari berbagai komponen kimia dari bahan-bahan kimia yang mudah menguap seperti formaldehid, asam asetat, fenol, dan *anhydrosugar*. Berdasarkan penelitian DynaMotive, *bio-oil* yang dihasilkan mempunyai komposisi dan sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 (Faraq, 2002).

Kualitas dari asap cair dengan warna coklat gelap jika dibandingkan dengan bahan biomassa mempunyai *heating value* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 6 Komposisi Asap cair

No.	Komposisi (% berat)	<i>Bagasse</i>	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 53% + 47% Bark	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 100%
1.	Air	20,8	24,3	23,3
2.	Lignin	23,5	24,9	24,7
3.	Cellobiosan	-	1,9	2,3
4.	Glyoxal	2,2	1,9	2,3
5.	Hidroksi asetaldehid	10,2	10,2	9,4
6.	Levoglukosan	3,0	6,3	7,3
7.	Formaldehid	3,4	3,0	3,4
8.	Asam format	5,7	3,7	4,6

9.	Asam asetat	6,6	4,2	4,5
10.	<i>Acetol</i>	5,8	4,8	6,6
11.	Tidak diketahui	18,8	14,8	11,6
12.	Total	100	100	100

Tabel 7 Sifat-Sifat Fisik Asap Cair

No.	Sifat Fisik	<i>Bagasse</i>	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 53% + 47% Bark	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 100%
1.	pH	2,6	2,4	2,3
2.	Air (% berat)	20,8	23,4	23,3
3.	Lignin (% berat)	-	1,9	2,3
4.	Padatan (% berat)	<0,10	<0,10	<0,10
5.	Abu (% berat)	<0,02	<0,02	<0,02
6.	Densitas (kg/L)	1,20	1,19	1,20
7.	Nilai kalor (MJ/kg)	15,4	16,4	16,6
8.	Viskositas kinematik (cST)			
	pada 20°C	57	78	73
	pada 80°C	4,00	4,4	4,3
No.	Bahan Baku			
1.	Kadar air (% berat)	2,1	3,5	2,4
2.	Kadar abu (% berat)	2,9	3,5	0,24

Tabel 8 Perbandingan Nilai Panas Pembakaran Berbagai Asap Cair

No.	Bahan Baku	Nilai Kalor (MJ/kg)
1.	<i>Corn cobs</i>	26,2
2.	<i>Corn stover</i>	24,3
3.	<i>Repeseed</i>	38,4
4.	Bunga matahari	15,9

DynaMotive dan Orenda Aerospace Corporation adalah perusahaan di New Hampshire, Durham, Amerika Serikat telah melakukan penelitian dengan mengoperasikan 2,5 MW mesin turbin dengan menggunakan bahan bakar *bio-oil*. Berdasarkan hasil uji, emisi CO dan partikulat lebih tinggi daripada solar, tetapi hasil uji emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>2</sub> lebih rendah daripada solar. Tabel

9 menunjukkan perbandingan sifat-sifat antara *bio-oil* dan solar. Nilai kalor *asap cair* sekitar setengah daripada nilai kalor solar. *Bio-oil* yang dihasilkan mempunyai kadar air 20 (%berat). Sehingga *bio-oil* yang dihasilkan bersifat *hydrophilic* dan *immiscible*. Kandungan alkali dalam *asap cair* dapat menyebabkan korosi.

Tabel 9 Perbedaan Sifat-Sifat *Bio-Oil* dengan Solar

No.	Sifat-Sifat	<i>Bio-Oil</i>	Solar
1.	Nilai kalor (MJ/kg)	15-20	42
2.	Viskositas kinematik	78	2-4
3.	pH	2,3-3,3	5
4.	Air	20-25 (% berat)	0,05 (% volum)
5.	Padatan	< 0,1 (% berat)	
6.	Abu	< 0,02	0,01
7.	Alkali (Na+K) ppm	5-100	<1

Tabel 10 menunjukkan perbedaan sifat-sifat *bio-oil*, *light heavy fuel oil*, dan *heavy fuel oil*. *Asap cair* mempunyai nilai kalor viskositas, kadar abu, kadar belerang, kadar nitrogen, dan emisi NO<sub>x</sub> lebih rendah daripada *light fuel oil* dan *heavy fuel oil*. Selain itu, *bio-oil* juga mempunyai keuntungan karena menghasilkan emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> hanya setengah daripada bahan bakar fosil (Faraq, 2000).

Tabel 10 Sifat-Sifat *Bio-Oil*, *Light Fuel Oil*, dan *Heavy Fuel Oil*

No.	Sifat-Sifat	<i>Bio-Oil</i>	<i>Light Fuel Oil</i>	<i>Heavy Fuel Oil</i>
1.	Nilai Kalor (MJ/kg)	16,5	42,3	40,9
2.	Viskositas (cSt) pada 50°C	7	4	50
	pada 80°C	4	2	41
3.	Abu (% berat)	<0,02	<0,01	0,03
4.	Belerang (% berat)	<i>Trace</i>	0,15-0,5	0,5-3
5.	Nitrogen (% berat)	<i>Trace</i>	0	0,3
6.	<i>Pour point</i> (°C)	-33	-15	-18
7.	<i>Turbine</i> NO <sub>x</sub> (g/MJ)	<0,07	1,4	-
8.	<i>Turbine</i> SO <sub>x</sub> (g/MJ)	0	0,28	



## 2.6. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sensoz dkk (2000) tentang pengaruh ukuran partikel terhadap asap cair hasil pirolisis didapatkan bahwa semakin besar ukuran partikel yang digunakan maka asap cair yang dihasilkan akan semakin banyak. Zanzi dkk (2002) melakukan penelitian tentang rapid pirolisis berbagai macam kayu pada suhu tinggi yang menghasilkan bahwa semakin besar diameter partikel yang digunakan maka char akan semakin sedikit, sedangkan semakin besar suhu yang digunakan maka char yang dihasilkan akan semakin banyak. Penelitian tentang pirolisis yang dilakukan oleh Wijaya dkk (2008) dengan menggunakan bahan baku serbuk gergaji kayu pinus dengan variasi suhu pembakaran yang digunakan yaitu 110, 200, 300, 400, dan 500°C selama 5 jam didapatkan yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Karakteristik Asap Cair Kayu Pinus pada Berbagai Suhu Pirolisis

Suhu Pirolisis (°C)	Perolehan		
	Yield (% b/b)	pH	Warna
110	10,92	3,45	Merah Cokelat
200	14,46	3,3	Merah Cokelat
300	11,99	3,07	Merah Kehitaman
400	11,32	3,21	Merah Kehitaman
500	0,92	3,26	Hitam

Tabel 12 Komposisi Asap Cair Hasil Pirolisis Kayu Pinus Hasil Deteksi GC-MS

No	Komponen	% Relatif
1	Asap Cair 110°C	
	2 propanon	35,06
	Asam asetat	31,65
	2 Heptanal, 1 pentena, 2 metil butana 1-ol	6,77
	4 Asam pentanoat, 3 asam oktanoat	1,08
2	Asap Cair 200°C	
	2 propanon (CAS) aseton	19,48

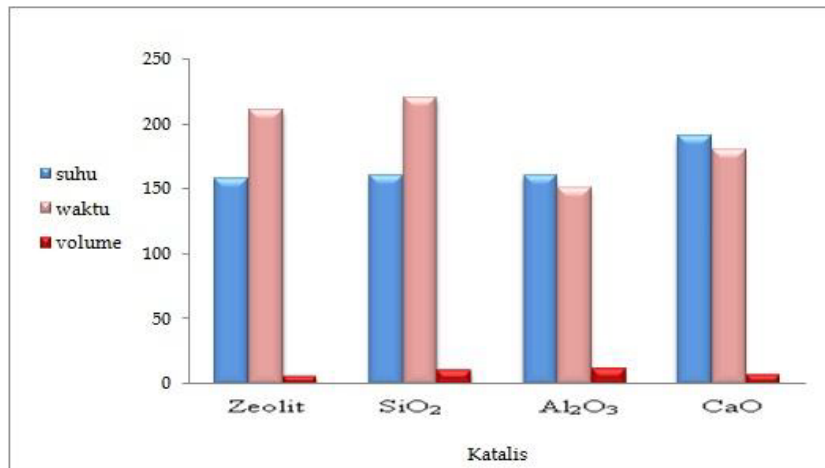
3	Asam isosianat, propil trikloroasetat,	3,18
	2 Asetal tetrazole dan siklobutilamin	17,01
	Asap Cair 300°C	
	2 Propanon , n butana, 1 propena 2 ol	9,02
	Asam isosianat, propil trikhloroasetat, 1 Kloroetil asetat	2,88
	Asam asetat	14,09
	1,3 Benzenadiamin	36,81
4	Asap Cair 400°C	
	n-Butana, 1-propena-2 –ol	7,26
	1,3 Benzenadiamin. 4 metil	34,14
5	Asam asetat	19,60
	2 Propanon 1 hidroksi , asetaldehida	15,02
	Asap cair 500°C	
	2 Propanon aseton, 1 propena -2-ol	25,64
	Asam asetat, 1,3 benzenadiamin	29,91
	Furan	4,94
	2 (1H)-Piridin, ekso-2 bromonorbunan	3,64

Dari hasil *GC-MS* dapat diketahui kandungan asam asetat dan senyawa lain dalam asap cair kayu pinus masih besar. Berdasarkan Tabel 12 hasil pirolisis yang mempunyai kandungan asam asetat yang terbanyak berada pada suhu pirolisis 110°C. Hal ini disebabkan pada asap cair tersebut mengalami proses dekomposisi hemiselulosa dan selulosa, sehingga diperkirakan banyak asam yang terbentuk. Komposisi produk pirolisis pada suhu rendah dari kayu pinus adalah arang 37,8%, metanol 0,9%, aseton 0,2%, metil asetat 0,01%, asam asetat 3,5%, natrium asetat 8,0%, tar 11,8% dan air 22,3%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Febri dkk (2003) tentang pengaruh katalis dalam pengolahan limbah plastic *low density polyethylene (LDPE)* dengan metode pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit, silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) menghasilkan hasil yang tertera pada Gambar 3 dan Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Pirolisis Variasi Jenis Katalis

Parameter	Katalis yang digunakan			
	Zeolit	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Suhu tetesan pertama (°C)	120	120	120	140
Suhu tetesan terakhir (°C)	158	160	160	190
Total waktu reaksi (menit)	210	220	150	180
Volume produk cair yang diperoleh (mL)	5,6	10	11	6



Gambar 1 Pengaruh Katalis Terhadap Suhu Reaksi, Waktu Reaksi, dan Volume Produk yang Dihasilkan

Berdasarkan data pada Tabel 13 dan Gambar 1, terlihat bahwa katalis zeolit, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, suhu reaksinya relatif hampir sama, sedangkan dengan katalis CaO suhu reaksinya lebih tinggi dibanding ketiga katalis tersebut yaitu 190°C. Dilihat dari waktu reaksi prosesnya dengan menggunakan katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dibutuhkan waktu reaksi lebih cepat yaitu 150 menit, sedangkan pada katalis zeolit, SiO<sub>2</sub>, dan CaO waktu reaksinya berturut-turut yaitu 210, 220, dan 180 menit. Berdasarkan volume produk yang dihasilkan, maka katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menghasilkan produk terbanyak yaitu 11 mL. Jadi dapat disimpulkan bahwa katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relatif lebih efektif untuk mendegradasi limbah plastik LDPE, dengan jumlah minyak yang dihasilkan sebanyak 11 mL dari 20 g sampel, dengan lama waktu reaksi 150 menit dan suhu degradasinya yang digunakan antara 120 – 160°C.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu jati dan kayu glugu diperoleh dari pengrajin kayu Dhika Meuble daerah Gemolong Sragen serta sekam padi diambil dari daerah Banyudono, Boyolali.

### 3.2. Alat Penelitian

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari *stainless steel* dengan diameter 25 cm dan tinggi 30 cm. Pada rektor dipasang pemanas listrik yang membungkus seluruh bagian reaktor. Pemanas dihubungkan dengan *thermo controller* sehingga memudahkan untuk mengatur dan mengetahui suhu dari reaktor. Suhu pemanasan direaktor yang digunakan adalah 400, 450, 500, 550, dan 600°C. Pemasukan umpan serbuk gergaji kayu jati dilakukan dengan membuka bagian tutup atas reaktor. Untuk menghindari kebocoran bagian tutup atas dilapisi dengan lem tahan panas.

Bagian tutup atas reaktor terdapat pipa yang menghubungkan reaktor dengan *cyclone*. Adanya *cyclone* diharapkan dapat memisahkan hasil gas dan padat yang terbawa. Setelah *cyclone* terdapat dua buah kondenser yang di pasang secara seri yang berfungsi mengkondensasikan gas hasil pirolisis.

Kondenser yang digunakan berbentuk pipa lurus. Gas hasil reaksi diembunkan pada kondenser pertama kemudian hasil asap cair ditampung. Gas hasil reaksi yang belum mengembun diembunkan kembali pada kondenser kedua kemudian asap cair ditampung. Gas hasil reaksi yang belum mengembun kemudian diumpankan melalui pipa bercabang. Pipa pertama diumpankan kedalam galon yang berisi air untuk mengetahui volume gas dengan menghitung volume air yang keluar dari galon. Pipa yang kedua diumpankan ke manometer untuk mengetahui tekanan gas. Rangkaian alat selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Rangkaian Alat Pirolisis

### 3.3. Prosedur Penelitian

Secara umum penelitian ini meliputi empat tahap, yaitu persiapan bahan baku, pirolisis, pemisahan hasil cairan, dan analisis uji asap cair, *char*, dan gas yang dihasilkan.

#### 3.3.1. Persiapan Bahan Baku

Proses persiapan bahan baku dimulai dengan membersihkan bahan baku (kayu jati, kayu glugu, dan sekam padi) dari pengotornya kemudian dijemur hingga kering. Setelah penjemuran, ketiga bahan tersebut dihaluskan dan dikeringkan dalam oven selama 8 jam untuk mendapatkan bahan baku dengan kadar air yang seragam.

#### 3.3.2. Proses Pirolisis

Ketiga bahan yang telah dioven selanjutnya ditimbang sebanyak 1000 gram. Ketiga bahan dimasukkan ke dalam reaktor dengan membuka bagian atas reaktor yang sebelumnya telah dibersihkan terlebih dahulu. Katalis zeolit ditambahkan sebanyak 250 gram ke dalam reaktor. Selanjutnya menutup reaktor dan memastikan tidak ada bagian yang bocor dengan melapisi celah menggunakan lem. Setelah itu menyalakan pompa air pendingin dan pemanas reaktor serta mengeset suhu pemanas pada suhu yang diinginkan yaitu 400, 450, 500, 550, dan 600°C pada *thermocontrol* yang telah terhubung dengan arus listrik, serta memasang botol penampung asap

cair hasil pirolisis dan kemudian langsung menyalakan kompresor vakum. Pada kondisi ini semua produk gas ditampung di dalam galon dan diukur tekanan gas.

Proses pirolisis dilakukan selama 2 jam. Kemudian hasil padatan (*char*) diambil dari *cyclone* untuk ditimbang. Asap cair dan gas ditampung dan dicatat massa dan volumenya. Proses pirolisis dihentikan jika massa asap cair yang dihasilkan mengalami perubahan kecil (konstan). Setelah dingin, reaktor dibuka untuk mengambil dan menimbang sisa padatan (*char*) di reaktor. Melakukan uji sifat-sifat fisik asap cair dan uji dengan *GC-MS*. Penelitian diulang untuk variasi perbandingan katalis.

### 3.2 Variabel Penelitian

Penelitian dilakukan dengan variasi bahan baku, perbandingan katalis, dan suhu.

1. Variasi bahan baku: serbuk kayu jati, sekam padi, dan glugu.
2. Variasi komposisi perbandingan katalis: 1 : ¼, 1½, 1¾, dan 1:1
3. Variasi suhu : 400, 450, 500, 550, dan 600°C.

### 3.3 Analisis Bahan Baku dan Produk

#### 3.3.1 Analisis Bahan Baku

Serbuk kayu jati, serbuk sekam padi, dan kayu glugu yang digunakan dalam penelitian diuji komposisi C, H, dan O di Laboratorium Pengujian Tekmira, Bandung.

#### 3.3.2 Analisis Produk

Menurut Sahraeni (2010) dan Djauhari (2006) sifat-sifat fisis dari hasil *asap cair* dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Tabel 14 menunjukkan jenis uji dan analisis terhadap *asap cair*.

Tabel 1 Jenis Analisis pada Asap Cair

No.	Uji/Analisis	Alat yang Digunakan	Tempat Pelaksanaan			
1.	Massa jenis	Piknometer	Laboratorium Teknik Muhammadiyah	Kimia	Surakarta	Universitas
2.	Viskositas	<i>Cannon Fenske Capillary</i>	Laboratorium Teknik Muhammadiyah	Kimia	Surakarta	Universitas
3.	pH	Kertas Lakmus	Laboratorium Teknik Muhammadiyah	Kimia	Surakarta	Universitas

4.	Komposisi	GC-MS QCP2010S Shimadzu	Laboratorium Kimia Organik FMIPA, Universitas Gadjah Mada
5.	Warna		Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, UGM

### 3.3.3 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Yield

##### a. Yield char

*Yield* arang ditetapkan dengan menghitung perbandingan berat arang terhadap berat bahan baku awal. Sehingga dapat ditentukan *Yield* dengan rumus sebagai berikut:

$$Yield\ char = 100\% - (yield\ asap\ cair + yield\ gas)$$

##### b. Yield asap cair

*Yield* asap cair dihitung dengan cara menimbang botol kosong. Kemudian asap cair yang dihasilkan dimasukan ke dalam botol. Setelah itu menimbang botol yang ada asap cairnya. Sehingga berat asap cair adalah berat botol dan asap cair dikurangi dengan berat botol kosong. Sehingga dapat ditentukan *yield* dengan rumus sebagai berikut:

$$Yield(\%) = \frac{\text{Berat asap cair}}{\text{Berat Umpan Kayu Jati}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

##### c. Yield Gas

Gas yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PV = n \cdot R \cdot T$$

Dimana rumus mencari BM rata-rata adalah:

$$BM\ rata - rata = \frac{(\%Volume\ A \times BM\ A) + (\%Volume\ B \times BM\ B) + \dots}{\%Volume\ A + \%Volume\ B + \dots} \dots \dots \dots (3)$$

#### 2. Berat Jenis

Berat jenis asap cair yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus :

$$Berat\ Jenis = \frac{B_o - B_p}{B_a - B_p} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

$B_o$  : Berat piknometer+asap cair

$B_p$  : Berat piknometer kosong

$B_a$  : Berat piknometer+akuadest



### 3. Derajat Keasaman (pH)

Pengujian pH asap cair dilakukan menggunakan pH-meter digital *Waterproof* Hanna. Prinsip cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter adalah sebuah metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH-meter. Sebelum digunakan dilakukan kalibrasi alat pH-meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- a) Keringkan dengan kertas *tissue* selanjutnya bilas elektroda dengan *aquadest*
- b) Bilas elektroda dengan asap cair hasil pirolisis
- c) Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH-meter menunjukkan pembacaan yang tetap.
- d) Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH-meter.

### 4. Analisis GC-MS

Asap cair dianalisis kandungan senyawa kimianya menggunakan *GC-MS* QP2010S SHIMADZU. Kondisi alat memakai suhu kolom 600°C, suhu detektor 310°C, suhu injektor 280°C, dan waktu analisis 70 menit. Asap cair disaring dengan kertas saring, kemudian diinjeksikan ke dalam *GC-MS* sejumlah 0,2µL. Selanjutnya spektrum puncak kromatogram dari sampel akan dicocokkan dengan spektrum yang ada dalam *Library GC-MS*.

### 5. Analisis Komposisi Gas Hasil Pirolisis

Gas hasil pirolisis kayu jati yang dihasilkan dianalisis komposisinya dengan menggunakan *Portable Gas Analyzer*. Analisis ini kami lakukan di Laboratorium Proses Teknik Kimia UMS dengan menyewa dari Laboratorium Terpadu FMIPA UNS.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Sifat-sifat Fisik Asap Cair dari Kayu Jati

Sifat-sifat fisik asap cair hasil pirolisis kayu jati pada variasi suhu dapat dilihat pada Tabel 15 dan Gambar 3.

Tabel 1 Nilai Densitas, pH, Viskositas, Warna dan Kandungan Air Asap Cair pada Variasi Suhu Pemanasan

Suhu ( °C )	$\rho$ (g/mL)	pH	$\mu$ (g/cm.s)	Warna	Kandungan Air (%)
400	1,037	2,5	0,0599	Merah Tua	95
450	1,0386	2,5	0,0618	Merah Tua	94
500	1,0367	2,6	0,0584	Merah Tua	94
550	1,0349	2,6	0,0577	Merah Tua	93
600	1,0345	2,6	0,0575	Merah Tua	91



Gambar 1 Asap Cair Kayu Jati pada Variasi Suhu

Sedangkan sifat-sifat fisik asap cair pada perbandingan katalis dapat dilihat pada Tabel 16 dan Gambar 4.

Tabel 2 Nilai Densitas, pH, Viskositas, dan Warna Asap Cair Variasi Perbandingan Zeolit

Massa Zeolit ( g )	$\rho$ (g/mL)	pH	$\mu$ (g/cm.s)	Warna	Kandungan Air
125	1,0371	2,6	0,0615	Merah Tua	95
250	1,0345	2,6	0,0616	Merah Tua	91
500	1,0367	2,7	0,0607	Kuning Tua	95
750	1,0351	2,6	0,0613	Kuning Tua	92
1000	1,0346	2,6	0,0603	Kuning Tua	92



Gambar 2 Asap Cair Kayu Jati pada Variasi Perbandingan Katalis

#### 4.1.2 Sifat-sifat Fisik Asap Cair dari Kayu Glugu

Sifat-sifat fisik asap cair hasil pirolisis kayu jati pada variasi suhu dan perbandingan katalis dapat dilihat pada Tabel 17 dan Tabel 18.

Tabel 3 Nilai Densitas, pH, Viskositas, Warna, Kandungan Air pada Variasi Suhu Pemanasan

Suhu (°C)	$\rho$ (g/mL)	pH	$\mu$ (g/cm.s)	Warna	Kandungan Air
400	1,0348	2,9	0,0590	Merah Tua	95
450	1,0744	3,5	0,0629	Merah Tua	85
500	1,0371	3	0,0581	Merah Tua	71
550	1,1786	3,4	0,0718	Merah Tua	64
600	1,0311	2,5	0,0569	Coklat	98

Tabel 4 Nilai Densitas, pH, Viskositas Warna, dan Kandungan Air pada Variasi Perbandingan Katalis

Massa Zeolit (g)	$\rho$ (g/mL)	pH	$\mu$ (g/cm.s)	Warna	Kandungan Air
125	1,0258	2,9	0,0589	Kuning Tua	89
250	1,0311	2,8	0,0604	Coklat	98
500	1,0023	3,1	0,0580	Kuning Muda	85
750	1,1833	3,2	0,0680	Kuning Tua	73
1000	1,0375	2,5	0,0603	Kuning Tua	96

#### 4.1.3 Sifat-sifat Fisik Asap Cair dari Sekam Padi

Sifat-sifat fisik asap cair hasil pirolisis sekam padi pada variasi suhu dan perbandingan katalis dapat dilihat pada Tabel 19 dan Gambar 5.

Tabel 5 Nilai Densitas, pH, dan Viskositas pada Variasi Suhu

Suhu (°C)	$\rho$ (g/mL)	pH	$\mu$ (g/cm.s)
400	1,0316	3,7	0,0591
450	1,0398	3,7	0,0609
500	1,0382	3,8	0,0598

550	1,0406	4	0,0589
600	1,0356	4,4	0,0577



Gambar 3 Asap Cair Hasil Pirolisis Sekam Padi pada Variasi Suhu

Sifat-sifat fisik asap cair hasil pirolisis sekam padi pada variasi perbandingan katalis dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 6 Nilai Densitas, pH, dan Viskositas pada Variasi Massa Sekam dan Zeolit

Variasi massa zeolit (kg)	(g/mL)	pH	$\mu$ (g/cm.s)
125	1,0327	4	0,0589
250	1,0356	4,4	0,0606
500	1,0431	3,9	0,0606
750	1,0406	4	0,0592
1000	1,0357	4,4	0,0582

pH asap cair rata-rata yang dihasilkan pada pirolisis ketiga bahan spade variasi suhu dan perbandingan katalis yaitu 3,11. Hal ini menunjukkan bahwa asap cair masih banyak mengandung komponen asam yang tinggi terutama komponen asam asetat. pH yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Wibowo (2013) yang melakukan penelitian

pirolisis dari kayu sengon pada suhu 400, 450, dan 500°C yang menghasilkan pH berturut-turut 2,91, 2,85, dan 2,83.

Menurut Zanzi, dkk, 2002 densitas dari *asap cair* yang dihasilkan adalah 0,6-1,1 g/mL. Sedangkan pada penelitian ini dengan variasi suhu dan perbandingan katalis densitas rata-rata adalah pada 0,9073 g/mL.

Menurut (Sensoz dkk, 2000) viskositas dari *asap cair* yang dihasilkan adalah 43 cSt sedangkan dalam penelitian ini viskositas rata-rata pada variasi suhu dan perbandingan katalis adalah 0,0524 g/cm.s. Sifat-sifat fisik dari asap cair pada dapat dilihat di Tabel 15, Tabel 16, Tabel 17, Tabel 18, Tabel 19, dan Tabel 20. Densitas asap cair dipengaruhi oleh suhu pemanasan. Pada variasi suhu pemanasan, semakin tinggi suhu maka densitas dari asap cair yang dihasilkan semakin rendah. Densitas rata-rata pada variasi suhu dan perbandingan katalis yaitu sebesar 1,046 g/mL. Hasil ini juga lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wibowo (2013) dengan menggunakan kayu sengon yang menghasilkan densitas asap cair pada suhu 450°C sebesar 1,116 g/mL.

Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir. Semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar pula pergerakan dari fluida tersebut. Viskositas terbesar terdapat pada suhu 450°C dan massa zeolit 250 gram sebesar 0,0618 g/cm.s dan 0,0616 g/cm.s.

Menurut Graham dkk. (1994) pada suhu 700°C gas-gas yang dihasilkan pada pirolisis terdiri dari H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Sedangkan hasil gas-gas yang dihasilkan pada proses pirolisis kayu jati, sekam padi, dan kayu glugu dapat dilihat pada Tabel 21. Dari hasil uji *Portable Gas Analyzer* didapatkan bahwa gas hasil pirolisis kayu jati masih banyak mengandung CO<sub>2</sub>, dan gas CO. Kadar gas hasil pirolisis kayu jati lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Graham dkk. (1994) dengan komposisi CO (39,8 %volum), H<sub>2</sub> (0,9 %volum), CO (3,7 %volum),

dan C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (3,8 % volum). Menurut Mansaray dkk (1999) komposisi gas yang dihasilkan dari pirolisis sekam padi adalah 4% H<sub>2</sub>, 5% hidrokarbon (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 15% CO<sub>2</sub>, 20% CO and 57% N<sub>2</sub>.

Tabel 7 Gas Hasil Pirolisis Kayu Jati, Sekam Padi dan Kayu Glugu

Komponen	Kadar					
	Kayu Jati		Kayu Glugu		Sekam Padi	
	400°C	600°C	400°C	600°C	400°C	600°C
CO <sub>2</sub> (%)	33,6250	31,1250	35,6625	29,575	34,3625	33,8125
CO (ppm)	6,9612	3,8867	0,9050	0,64	4,5596	11,6751
CH <sub>4</sub> (%)	0,7838	0,8975	3,1125	3,3625	3,3625	3,0875
O <sub>2</sub> (%)	0,8375	0,5125	7,3325	9,216975	0,875	0,8825
NO (ppm)	0,0144	0,0584	0,0318	0,010975	0,11015	0,44743
SO <sub>2</sub> (ppm)	0,0077	0,0142	0,0001	0,000113	0	0,57
NO <sub>2</sub> (ppm)	0,0001	0,0000	0,0001	0,009313	0	0,01396

Sedangkan *yield* asap cair, *char*, dan gas dapat diliha pada Tabel 22.

Tabel 8 *Yield* pada Berbagai Bahan Baku

Variabel	<i>Yield Asap cair (%)</i>			<i>Yield Char (%)</i>			<i>Yield Gas (%)</i>		
	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati
400	42,16	29,77	28,94	50,67	50,67	46,59	7,17	19,56	24,47
450	29,50	37,04	25,66	49,83	58,14	49,83	20,67	4,82	24,50
500	38,60	34,45	32,81	49,83	46,59	48,58	11,57	18,96	18,62
550	33,30	33,30	34,96	49,83	49,92	46,59	16,87	16,78	18,45
600	44,75	35,24	38,24	54,08	49,92	46,59	1,18	14,84	15,18



## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hasil GC-MS Asap Cair dari Kayu Jati

Lima komponen terbesar komposisi *asap cair* dari kayu jati pada suhu 400°C adalah krotanaldehida (21,39%), asam format, etenil (15,25%), aseton (12,37%), metil etil keton (11,64%), dan asam asetat, metil eter (10,18%) Komposisi asap cair pada suhu 400°C dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 9 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 400°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam format, etenil	15,25
2.	Aseton	12,37
3.	asam asetat, metil eter	10,18
4.	metil etil keton	11,64
5.	asam asetat,metoksi	3,4
6.	metil isopropenil keton	0,77
7.	hidroksiaseton	6,59
8.	asam propanoat	2,59
9.	<i>trans-ethylidene acetone</i>	0,56
10.	2-furanmetanol, tetrahidro-	0,31
11.	oksirana, tetrametil-	0,78
12.	siklopentanon	1,93
13.	2-furankarbosaldehida	5,14
14.	2-butanon	0,24
15.	3-heptenol asetat	0,41
16.	2,5-dimetoksitetrahidrofuran	0,10
17.	2,5-dimetoksitetrahidrofuran	0,14
18.	2-metil-2-siklopentenon	0,71
19.	etanon, <i>1</i> -(2-furanil)-	0,13
20.	Butirolakton	0,40

No	Senyawa	(% Relatif)
21.	2-furankarboksaldehida, 5-metil-	0,39
22.	Sikloten	0,22
23.	fenol, 2-metoksi	1,09
24.	asam pentadekanoit, etil ester	0,22

Lima komponen terbesar komposisi asap cair dari kayu jati pada suhu 450°C adalah asam asetat (22,71%), etilen glikol (11,55%), hidroksiaseton (8,70%), 2-furankarboksaldehida (7,94%), dan 2,3-butanedion. Komposisi asap cair pada suhu 450°C dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 10 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 450°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	etilen glikol	11,55
2.	Aseton	6,31
3.	asam asetat, metil ester	2,21
4.	2-propenol	1,81
5.	2,3-butanedion	6,49
6.	2-butanon	4,31
7.	tetrahidrofuran	5,41
8.	2-butenal	5,44
9.	isobutil alkohol	2,85
10.	asam asetat	22,17
11.	2,3-pentanedion	1,69
12.	hidroksiaseton	8,70
13.	asam propanoat	1,69
14.	tran-metil propenil keton	0,93
15.	2-furanmetanol, tetrahidro-	0,37
16.	propilen karbonat	0,71
17.	siklopentanon	1,72

No	Senyawa	(% Relatif)
18.	propilen oksida	0,66
19.	1,4-butanadiol	1,15
20.	asam butanoat	0,63
21.	2-furankarboksaldehida	0,26
22.	2-furankarboksaldehida	7,94
23.	asam butanoat, 2-propenil ester	0,03
24.	metil etil keton	0,61
25.	2-metil-2-siklopentenon	1,10
26.	<i>ethanone, 1-(2-furanyl)-</i>	0,40
27.	Butirolakton	0,62
28.	propilen karbonat	0,08
29.	fenol, 2-metoksi-	1,44
30.	benzena, 1,4-dimetoksi-	0,38

Lima komponen terbesar komposisi asap cair dari kayu jati pada suhu 500°C adalah aseton (15,33%), asam format (14,33%), metil asetat (8,71%), 2-butanon (8,40%), dan hidroksi aseton (6,05%). Komposisi asap cair pada suhu 500°C dapat dilihat pada Tabel 25.

Tabel 11 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 500°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam format	14,33
2.	Aseton	15,33
3.	metil asetat	8,71
4.	2-butanon	8,40
5.	2-butenal	1,62
6.	hidroksi aseton	0,94
7.	hidroksi aseton	6,05
8.	2,3-pentanadion	1,26

No	Senyawa	(% Relatif)
9.	asam propanoat	2,68
10.	<i>trans-ethylidene acetone</i>	0,56
11.	alil butirat	0,22
12.	isopropil format	0,21
13.	1-amino-pirolidina	0,25
14.	1-hidroksi-2-butanona asetat	2,12
15.	propilen oksida	0,49
16.	siklopentanon	1,85
17.	isopropil asetat	0,25
18.	2-furankarboksaldehida	5,67
19.	2-butanon	0,55
20.	metil isopropil keton	0,46
21.	3-metil-2-siklopentenona	0,80
22.	<i>1,3-hexadiene, 2,5-dimethyl-</i>	0,07
23.	Butirolakton	0,40
24.	isopropil propionat	0,15
25.	<i>mesitene lactone</i>	0,50
26.	fenol 2-metoksi	1,37

Lima senyawa terbesar pada asap cair dari kayu jati pada suhu 550°C adalah asam asetat (22,04%), asam format (14,70%), aseton (10,83%), 2-butanon (8,97%) , dan 2-Propanon, 1-hidroksi- (6,56%). Senyawa lain pada asap cair pada suhu 550°C dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 12 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 550°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam format	14,70
2.	aseton	10,83
3.	asam asetat, metil ester	6,23

No	Senyawa	(% Relatif)
4.	2-butanon	8,97
5.	<i>pentane, 1-methoxy-</i>	4,41
6.	asam asetat	22,04
7.	2-butenal	1,69
8.	hidroksiaseton	1,09
9.	2-propanon, 1-hidroksi-	6,56
10.	3-pentanon, 2-metil-	1,24
11.	asam propanoat	2,91
12.	<i>trans-ethylidene acetone</i>	0,48
13.	2-furanmetanol, tetrahidro-	0,13
14.	asam format, 1-metil etil ester	0,19
15.	toluena	0,94
16.	2-butanon, 1-hidroksi-, asetat	1,86
17.	propilen oksida	0,47
18.	siklopentanon	2,10
19.	asam butanoat	0,36
20.	isopropil butirat	0,11
21.	asam asetat, 1-metil etil ester	0,35
22.	2-furankarboksaldehida	6,84
23.	2-butanon	0,53
24.	2,3-butanedion	0,60
25.	3-metil-2-siklopentenon	0,84
26.	butirolakton	0,37
27.	3-pentanon, 2-metil-	0,15
28.	<i>mesitene lactone</i>	0,56
29.	Fenol	0,59
30.	1,2-sikloheksanedion	0,48
31.	fenol, 2-metoksi-	1,37

Lima senyawa terbesar asap cair dari kayu jati pada suhu 600°C adalah asam asetat (26,90%), etilen glikol (12,03%), metil glikol asetat (10,24%), 2,3-butanedione (7,26%), dan 2-Butanon (7,33%). Senyawa lain dari asap cair kayu jati pada suhu 600°C dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 13 Komposisi Asap Cair Kayu Jati pada Suhu 600°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	etilen glikol	12,03
2.	metil glikol asetat	10,24
3.	metil asetat	1,75
4.	2-propenol	0,65
5.	2,3-butanedione	7,26
6.	2-butanon	7,33
7.	tetrahidro furan	3,31
8.	asam asetat	26,90
9.	2,3-pentanedion	0,70
10.	hidroksiaseton	5,28
11.	2-heksanol	0,87
12.	alil butirat	0,16
13.	3-pentanol	0,61
14.	isopropil format	0,87
15.	propilen karbonat	1,69
16.	siklopentanon	1,45
17.	propilen oksida	0,79
18.	propil format	1,15
19.	asam butanoat	1,17
20.	2-furankarboksaldehida	7,09
21.	2-butanon	0,27
22.	3-metil-2-siklopentenon	0,99

No	Senyawa	(% Relatif)
23.	butirolaktona	0,83
24.	fenol	1,48
25.	<i>1,2-cyclopentanedione, 3-methyl-</i>	0,90
26.	fenol, 2-metil-	0,56
27.	fenol, 3-metil-	0,97
28.	fenol, 2-methoksi-	1,61
29.	benzena, 1,4-dimetoksi-	0,53
30.	fenol, 2,6-dimethoksi-	0,58

#### 4.2.2 Hasil GC-MS Asap Cair dari Kayu Glugu

Lima senyawa terbesar asap cair dari kayu glugu pada suhu 400°C adalah asam asetat (26,720%), ammonium oksalat (11,81%), 2-propenol (9,71%), 2-propana-1-hidroksi (8,88%), dan 2-furankarboksilat (6,6%). Senyawa lain dari asap cair kayu glugu pada suhu 400°C dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 14 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 400°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam asetat	26,72
2.	amonium oksalat	11,81
3.	2-propenol	9,71
4.	2-propana-1-hidroksi	8,88
5.	2-furankarboksilat	6,6
6.	etilen glikol	9
7.	aseton	3,48
8.	asam formiat metil ester	3,37
9.	aseton	3,28



No	Senyawa	(% Relatif)
10.	vinil aetat	3,15
11.	propanol	2,91
12.	trans-etileden aseton	2,19
13.	siklopentana	2,11
14.	2-butanon,1-hidroksi	1,76
15.	2-pentanon	1,55
16.	1,2-siklopentandionin, 3-metil-	1,47
17.	fenol, 2-metoksi	1,43
18.	1-propanol, 2-metil	1,31
19.	metil glikolet	1,29
20.	3-metil-2 siklopentana	1,12
21.	metil isopropil karbonil	0,89
22.	butirolakton	1,03
23.	fenol, 2,6-dimetoksi	0,69
24.	tetrahidro furan	0,65
25.	2,3-pentanadion	0,61
26.	benzena, 1-4 dimetoksi	0,56
27.	3-heksin-2,5 diol	0,39
28.	1,2,4-trimetoksibenzena	0,37
29.	2-butanon	0,37
30.	2-furil metil keton	0,32
31.	1,5 heksadin, 3,4-dimetil	0,32
32.	5-metil furfural	
33.	2-metil-2siklopentana	0,15
34.	2,5 heksadion	0,08
35.	asam aetat, metil ester	0,6

Empat senyawa terbesar asap cair dari kayu glugu pada suhu 450°C adalah asam asetat (25,71%), etilen glikol (16,09%), 2-furankarboksaldehida (8,56%), 2-propana, 1-hidroksi (8,22%). Senyawa lain dari asap cair kayu glugu pada suhu 450°C dapat dilihat pada Tabel 29.

Tabel 15 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 450°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam asetat	25,71
2.	etilen glikol	16,09
3.	2-furankarboksaldehida	8,56
4.	2-propana, 1-hidroksi	8,22
5.	1-propanol, 2-metil 1-propanol, 2-hidroksi	7,66
6.	aseton	6,71
7.	2,3-butandion	6,37
8.	pentana	3,57
9.	siklopentana	3,18
10.	fenol, 2-metoksi-	1,85
11.	asam asetat, metil ester	1,53
12.	asam asetat,kloro	1,43
13.	2-pentanetriol, 4-metil	2,7
14.	2-siklopentanon	3,18
15.	2-heptanon, 3-metil	0,85
16.	3-furanmetanol	0,72
17.	benzena, 1-4dimetoksi	0,57
18.	2-furanmetanol, tetrahidro	0,37
19.	asam formiat, propil ester	0,36
20.	butirolakton	0,34
21.	2-metil tetrahidrofuran	0,19
22.	asam formiat, propil ester	0,36
23.	butirolakton	

No	Senyawa	(% Relatif)
24.	2-metil tetrahidrofuran	0,19
25.	asam propanoat, etenil ester	0,16
26.	oksidasi propilen	0,4
27.	tetrametil etilen oksidasi	0,8

Lima senyawa terbesar asap cair dari kayu glugu pada suhu 500°C adalah 2-Metil-3 pentanon (27,9%), etilen glikol (11,58%), 2-Propanon, 1-hidroksi (9,08%), 2-Furankarbokaldehida (7,24%), dan 2,3-Butandion (7,22%). Senyawa lain dari asap cair kayu glugu pada suhu 500°C dapat dilihat pada Tabel 30.

Tabel 16 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 500°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	2-metil-3 pentanon	27,9
2.	etilen glikol	11,58
3.	2-propanon, 1-hidroksi	9,08
4.	2-furankarboksaldehida	7,24
5.	2,3-butandion	7,22
6.	Aseton	7,15
7.	2-butanon	2,28
8.	metil nitrat	6,6
9.	metil hidroksiasetat	1,72
10.	asetonil desil ester	1,72
11.	Siklopentana	1,54
12.	fenol- 2 metoksi-	1,35
13.	asam formiat, propil ester	1,38
14.	piridin	1,34
15.	trans-etilen aseton	1,33
16.	2-propenol	1,29
17.	2-furankarboksaldehida, 5-metil	1,04
18.	3-metil-2 siklopentana	1,4
19.	2-butanon	0,72
20.	butiralakton	0,69
21.	fenol	0,64
22.	3-furanmetanol	0,49
23.	etanon, 1-(2-furanil)	0,49

No	Senyawa	(% Relatif)
24.	1,2-sikloheksadion	0,49
25.	asam butanoat anhidrid	0,42
26.	oksidasi propilen	0,38
27.	fenol, 2,6-dimetoksi	0,31
28.	asam propanoat, etenil ester	0,24
29.	2-propanon,1-(asetiloksi)-	0,4
30.	glutarik anhidrid	0,3
31.	2-furankarboksaldehida	0,3

Lima senyawa terbesar asap cair dari kayu glugu pada suhu 550°C adalah asam asetat (21,56%), aseton (11,8%), 2-furankarbokaldehyda (8,04), 2-propanon, 1-hidroksi (7,36%), dan etilen glikol (7,12%). Senyawa lain dari asap cair kayu glugu pada suhu 550°C dapat dilihat pada Tabel 31.

Tabel 17 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 550°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam asetat	21,56
2.	Aseton	11,8
3.	2-furankarbokaldehyda	8,04
4.	2-propanon, 1-hidroksi	7,36
5.	etilen glikol	7,12
6.	1,2-etandiol	6,77
7.	2-butenal	6,25
8.	2,3-butandion	5,76
9.	metil isopropenil keton	3,41
10.	tetrahidro furan	3,27
11.	phenol, 2-metoksi	2,69
12.	trans-etiliden aseton	2,38
13.	siklopentana	1,86
14.	3-metil-1,2-siklopentana	1,32
15.	propilen karbonat	1,34
16.	3-metil-1,2-siklopentana	1,32
17.	propil format	1,31
18.	penol 2,6-dimetoksi	0,94

No	Senyawa	(% Relatif)
19.	2-metil-2-oksidas pentane	0,86
20.	oksidas propilen	0,69
21.	butiralakton	0,65
22.	butan, 2,3-dimetil	0,65
23.	benzena, 1,4-dimetoksi	0,63
24.	alil butirat	0,49
25.	2-butanon	0,37
26.	1,2,4-trimetoksi benzene	0,38
27.	1,3-butandiol 2-butanon	0,8
28.	1,3-butandiol	0,4

Lima senyawa terbesar asap cair dari kayu glugu pada suhu 600°C adalah asam asetat (21,75%), aseton (16,04%), etilen glikol (9,57%), 2-propanon, 1-hidroksi (6,63%), dan piridin (3,95%). Senyawa lain dari asap cair kayu glugu pada suhu 600°C dapat dilihat pada Tabel 32.

Tabel 18 Komposisi Asap Cair Kayu Glugu pada Suhu 600°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asam asetat	21,75
2.	aseton	16,04
3.	etilen glikol	9,57
4.	2-propanon, 1-hidroksi-	6,63
5.	piridin	3,95
6.	2-propenol	3,76
7.	2-furanmetanol	3,51
8.	piridin, 3-metil	3,42
9.	2-butanon	3,04
10.	dehidrometalonik lakton	2,89
11.	2-metil-3-heptanol	2,84
12.	2-butanadion	2,83

No	Senyawa	(% Relatif)
13.	2,3-pentanadion	2,14
14.	2-butanon, 3,dimetil	1,93
15.	2-propenol	1,85
16.	siklopentana	1,79
17.	2-furil metil keton	1,69
18.	piridina, 3-metil	1,60
19.	piridina, 3-metil	1,52
20.	2-metil-2-siklpentana	1,42
21.	butirolakton	1,35
22.	trans-etileden aseton	1,11
23.	pirazin	1,05
24.	pentana, 2-metil	1,04
25.	asam propanoat, anhidrid	0,68
26.	azabenzena	0,21
27.	piridin, 2,3-dimetil	0,4

#### 4.2.3 Hasil GC-MS Asap Cair dari Sekam Padi

Lima senyawa terbesar *asap cair* sekam padi pada suhu 400°C adalah asam asetat (22,71%), aseton (13,89%), asetaldehida (10,23%), 2-butanon (7,61%) , dan 2-Furankarbosaldehida (7,26%). Komposisi asap cair pada suhu 400°C dapat dilihat pada Tabel 33.

Tabel 19 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 400°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asetaldehida	10,23
2.	aseton	13,89
3.	2-propenol	1,84
4.	2-butanon	7,61

No	Senyawa	(% Relatif)
5.	furan-tetrahidro	1,63
6.	asam asetat	22,71
7.	2-propanon,1-hidroksi	6,73
8.	2-heksenal	4,21
9.	piridin	1,26
10.	1,3,5 sikloheptatriena	1,63
11.	siklopentanon	2,71
12.	1,4 butanediol	0,27
13.	sikloheksanamin	1,19
14.	pirazin, metal	0,98
15.	2-furankarbosaldehida	7,26
16.	2-furanmetanol	1,83
17.	3-hesen-1-ol-asetat	1,44
18.	2-metil-2-siklopentenon	1,49
19.	etanon	1,22
20.	butirolakton	0,34
21.	asam propanoat	1,61
22.	sulfon, butil propel	2,42
23.	1,2 sikloheksanediol	0,46
24.	fenol-2 metoksi	1,33
25.	etil metakrilat	2,11
26.	asam pentadekanoat	0,31

Pada suhu 450°C secara berurutan komposisi terbesar adalah asam asetat (19,06%), isopropil hidropersida (15,79%), 2-propanon, 1-hidroksi (7,11%), l-alanin, etil ester (7,7%), dan sorbikaldehida (6,87%). Komposisi asap cair selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 34.



Tabel 20 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 450°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	L-alanin, etil ester	7,7
2.	isopropil hidroperoksida	15,79
3.	2-propenol	1,55
4.	2-butanon	6,13
5.	tetrahidro furan	2,37
6.	isopropil metil keton	3,51
7.	asam asetat	19,06
8.	2-propanon, 1-hidroksi	7,11
9.	2-penten, 4-bromo	3,68
10.	piridin	1,07
11.	siklopentanon	2,3
12.	2-propanon, 1,3-dihidroksi	7,11
13.	sikloheksanamin	1,88
14.	pirazin, metal	1,24
15.	sorbikaldehida	6,87
16.	3-furanmetanol	2,98
17.	metil 1-metilkloropil keton	3,48
18.	2,3-butanediona	0,82
19.	3-metil-2-sikopentanon	1,26
20.	etanon,1-(2-furanil)	1,41
21.	butirolakson	0,78
22.	asam propanoat	1,46
23.	sulfon, butil propel	3,55
24.	fenol, 2-metoksi	0,44
25.	asetaldehida, 2-propenilhidrason	2,14

Menurut Sensoz dkk (2000) pada suhu 500°C komposisi *asap cair* yang dihasilkan terdiri dari senyawa golongan fenol, alkohol, keton, alkena, dan aromatik. Sedangkan pada penelitian ini pada suhu 500°C komposisi terbesar adalah asam asetat (22,53%), aseton (13,87%), L-alanin, etil ester (8,18%), 2-propanon,1-hidroksi (8,05%), dan 2,3-Butanedion. Senyawa lain yang terdapat pada *asap cair* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 35.

Tabel 21 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 500°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	L-alanin, etil ester	8,18
2.	aseton	13,87
3.	2-propenol	1,55
4.	2,3-butanedion	4,07
5.	tetrahidro furan	1,82
6.	2-pentanon	3,34
7.	asam asetat	22,53
8.	2-propanon, 1-hidroksi	8,05
9.	piridin	2,5
10.	toluena	1,9
11.	siklopentanon	2,05
12.	disulfida, dibutil	0,65
13.	etanol, 2-etoksi-asetat	1,37
14.	sikloheksanamin	1,46
15.	pirazin, metil-	1,53
16.	2-furankarboksaldehid	3,78
17.	piridin,2-metil	3,91
18.	2-furanmetanol	1,74
19.	2,3-butanedion	1,95
20.	piridin, 2,3-dimetil-	0,15
21.	asam propanoat,anhidrid	0,39

No	Senyawa	(% Relatif)
22.	2-siklopentena-1-one, 3-metil	1,5
23.	butirolaktona	0,97
24.	3-pentanon, 2-metil-	1,37
25.	sulfon, butil propel	2,25
26.	1,2-sikloheksanedion	0,39
27.	fenol, 2-metoksi	0,64

Menurut Onay dan Kockar, 2004./ dan Yorgun dkk, 2001 pada suhu 550°C senyawa yang ada dalam asap cair adalah n-pentana, toluena, dan metanol. Sedangkan pada penelitian ini, komposisi terbesar adalah metil isopropil keton (22,53%), 1-butanol (19,54%), aseton (13,87%), asetaldehida (8,18%), dan 2-butena, 2,3 dimetil (7,93%). Senyawa lain yang terdapat pada asap cair selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 36.

Tabel 22 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 550°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	asetaldehida	8,18
2.	aseton	13,87
3.	2-propenol	1,55
4.	2-butanon	4,07
5.	2-butenon	1,82
6.	asam asetat	3,34
7.	metil isopropil keton	22,53
8.	2-propanon, 1-hidroksi	8,05
9.	asam propanoat	2,5
10.	3-penten-2-one	5,34
11.	2-butena, 2,3 dimetil	7,93
12.	piridin	1,52
13.	1-hidroksi-2-butanon	3,71

No	Senyawa	(% Relatif)
14.	siklopentanon	4,93
15.	1-butanol	19,54
16.	piridin, 3-metil	1,81
17.	pirazina, metil	5,26
18.	piridin, 2-metil-	5,32
19.	siklopentenon	1,02
20.	2-furanmetanol	3,07
21.	3-furanmetanol	2,98
22.	piridin, 3-metil-	1,45
23.	pirazin, metil-	1,36
24.	piridin, 2-metil-	2,93
25.	2,3-butanedion	0,56
26.	piridin, 2,6-dimetil-	0,8
27.	2-metil,-2-siklopenten	1,27
28.	etanon, 1,2 furanil	4,19
29.	butirolakton	1,94
30.	2,5 heksanedion	1,45
31.	2-furanon, 5-metil	0,56
32.	2-butanon, 3,3-dimetil-	0,8
33.	2-propanol, 1-[(1-metil-2-propini)oksi]-, asetat	1,27
34.	1,2-sikloheksanedion	0,97
35.	2-pirimidinamin	0,25
36.	2-asam propenoat, 2-metil-, etil ester	1,19
37.	heptanal	1,17

Pada suhu 600°C secara berurutan komposisi terbesar adalah asam metakrilat (24,91%), 2-propanon,1-metoksi (18,53%), asetil propionil (8,71%), etilen glikol (7,27%), dan hidroksiaseton (6,48%). Senyawa lain yang terdapat pada asap cair selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 37.

Tabel 23 Komposisi Asap Cair Sekam Padi pada Suhu 600°C

No	Senyawa	(% Relatif)
1.	etilen glikol	7,27
2.	2-propanon,1-metoksi	18,53
3.	2,3-butadiana	2,4
4.	2-butanon	2,37
5.	tetrahidro furan	1,13
6.	2-butenal	1,06
7.	isobutana	0,9
8.	metil isopropil keton	3,17
9.	asetil propionil	8,71
10.	asam karboksilat	2,71
11.	asam metakrilat	24,91
12.	hidroksiaseton	6,48
13.	metil isobutanoat	1,1
14.	1,2-butanediol	1,21
15.	asam propanoat	0,48
16.	isopropil isobutirat	0,22
17.	siklopentanon	1,42
18.	propilen karbonat	0,99
19.	2-furfural	0,16
20.	propilen oksida	0,17
21.	2-furankarboksaldehida	6,73
22.	siklopentanon, 2-metil-	1,17
23.	2-propil asetat	0,58
24.	2,5 dimetilfuran	0,16
25.	3-metil-2-siklopentenon,3-metil	1,38
26.	asetilfuran	0,38
27.	butirolakton	0,57
28.	1,2 siklopentenadiona, 3-metil	0,81

No	Senyawa	(% Relatif)
29.	fenol-2-metoksi-	0,86
30.	benzena-1,2 dimetoksi	0,64
31.	fenol-1,2 dimetoksi	0,49

#### 4.2.4 Yield Produk Pirolisis

*Yield* produk pirolisis pada berbagai bahan baku dapat dilihat pada Tabel 38. *Yield* asap cair yang dihasilkan dari serbuk gergaji kayu, sekam padi, dan glugu pada variasi suhu dapat dilihat pada Tabel 38, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8. Berdasarkan Tabel 38, *yield asap cair* terbesar diperoleh dengan menggunakan bahan baku sekam padi dengan *yield* sebesar 44,75% pada suhu 600°C. Pada suhu 400°C kayu jati akan menghasilkan *yield* terendah sebesar 28,94%.

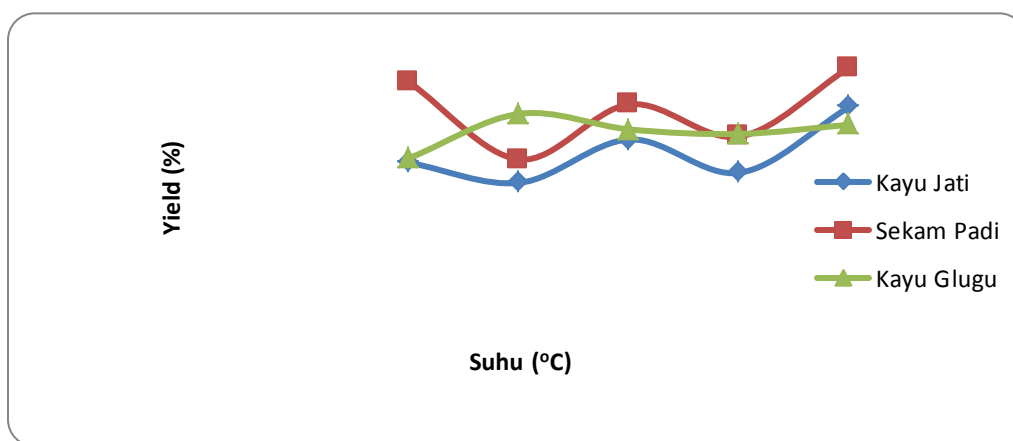
Tabel 24 *Yield* Variasi Suhu pada Berbagai Bahan Baku

Variabel Suhu (°C)	Yield Asap cair (%)			Yield Char (%)			Yield Gas (%)		
	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati
400	42,16	29,77	28,94	50,67	50,67	46,59	7,17	19,56	24,47
450	29,50	37,04	25,66	49,83	58,14	49,83	20,67	4,82	24,50
500	38,60	34,45	32,81	49,83	46,59	48,58	11,57	18,96	18,62
550	33,30	33,30	34,96	49,83	49,92	46,59	16,87	16,78	18,45
600	44,75	35,24	38,24	54,08	49,92	46,59	1,18	14,84	15,18

Menurut Gercel (2002) pada suhu 400°C terjadi dekomposisi secara lambat sehingga gas dan *char* menjadi komponen utama. Hal ini juga terlihat pada Tabel 38 *yield* asap cair yang dihasilkan sebesar 28,94%, gas 24,47%, dan *char* 46,59%. *Yield* yang dihasilkan dari pirolisis kayu jati lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang sudah dilakukan Tranggono *et al* (1996) dalam Wijaya, dkk (2008) yang melakukan penelitian pirolisis dengan beberapa jenis kayu yang menghasilkan *yield asap cair* rata-rata sebesar 49,1%. Gercel juga mengatakan bahwa

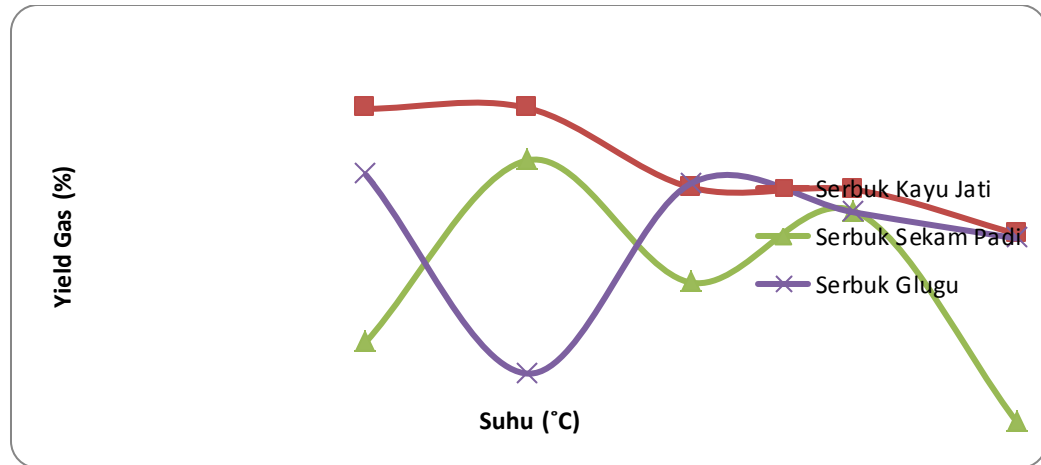
semakin tinggi suhu dari 400-550°C *yield* asap cair akan semakin meningkat. Dalam penelitian ini pada suhu 400-600°C *yield* asap cair naik pada bahan serbuk gergaji kayu jati dan glugu tetapi pada serbuk sekam padi *yield* asap cair mempunyai kecenderungan turun.

Jumlah *yield* asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan dan juga bergantung pada sistem kondensasi yang dipakai. Kondisi ini sesuai dengan yang dikemukakan Tranggono *et al* (1996) dalam Wijaya, dkk (2008) bahwa untuk pembentukan asap cair digunakan air sebagai medium pendingin agar proses pertukaran panas dapat terjadi dengan cepat. Proses kondensasi akan berlangsung secara optimal apabila air di dalam sistem pendingin dialirkan secara terus-menerus sehingga suhu dalam sistem tersebut tidak meningkat. Seperti yang dikemukakan Demirbas (2005) bahwa asap cair hasil pirolisis bahan kayu dapat dihasilkan secara maksimum jika proses kondensasinya berlangsung secara sempurna, sehingga pada penelitian kami menggunakan pendingin es.



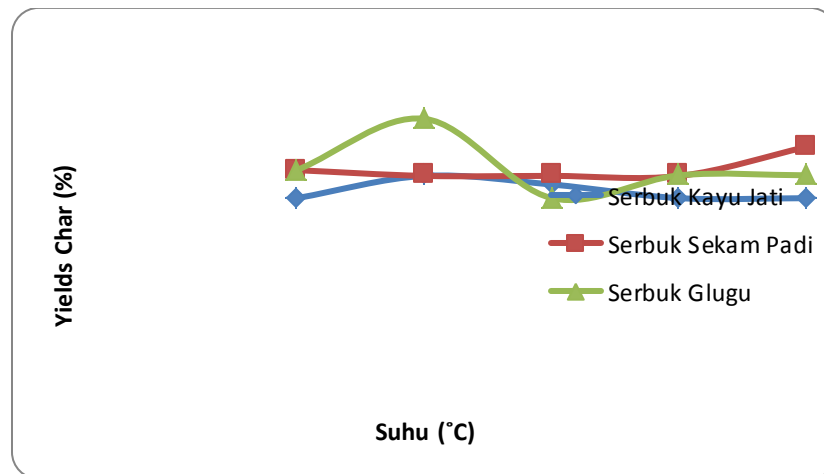
Gambar 4 *Yield* Asap cair pada Kayu Jati, Sekam Padi, dan Kayu Glugu pada Variasi Suhu

*Yield* gas yang dihasilkan pada bahan baku kayu jati, sekam padi dan kayu glugu dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, *yield* gas terbesar adalah 24,50% pada suhu 450°C dengan bahan baku serbuk kayu jati sedangkan pada suhu 450°C akan dihasilkan *yield* terendah sebesar 4,82% dengan menggunakan bahan baku kayu glugu.



Gambar 5 *Yield Gas* pada Serbuk Kayu Jati, Sekam Padi, dan Glugu Pada Variasi Suhu

*Yield char* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 8. Semakin tinggi suhu, maka zat terurai semakin banyak sehingga *char* yang dihasilkan semakin menurun. Pada suhu 600<sup>0</sup>C didapatkan *char* sebesar 54,08% dengan bahan baku sekam padi. *Char* yang dihasilkan pada suhu 400, 450, 500, 550, dan 600<sup>0</sup>C sudah sesuai dengan standar SNI 01-1682-1996, berwarna hitam merata.



Gambar 6 *Yield Char* pada Serbuk Kayu Jati, Sekam Padi, dan Glugu Pada Variasi Suhu

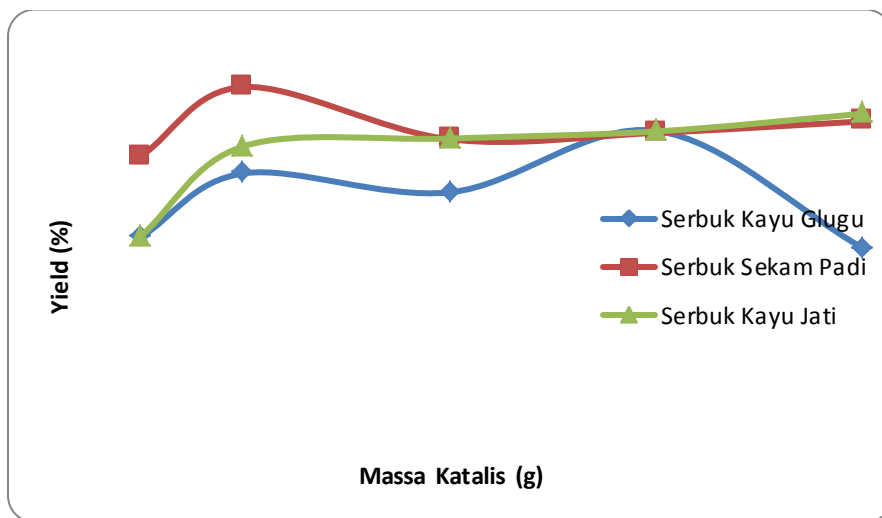
Tabel 25 *Yield Variasi Perbandingan Katalis* pada Berbagai Bahan Baku

Massa Katalis (g)	Yield Asap Cair (%)			Yield Char (%)			Yield Gas (%)		
	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati	Sekam Padi	Kayu Glugu	Kayu Jati



<b>125</b>	37,10	28,20	28,30	59,31	64,87	64,87	3,59	6,93	6,83
<b>250</b>	44,75	35,24	38,24	54,08	49,92	46,59	1,18	14,84	15,18
<b>500</b>	38,98	33,16	39,08	41,90	41,90	38,57	19,12	24,95	22,36
<b>750</b>	39,71	39,92	39,86	35,25	35,25	35,25	25,04	24,83	24,88
<b>1000</b>	40,97	27,00	41,81	28,69	28,69	28,69	30,35	44,32	29,50

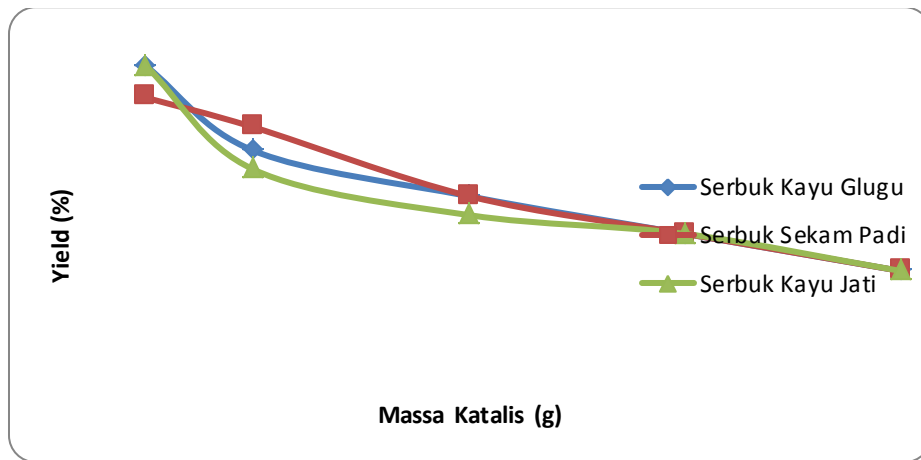
*Yield* asap cair, *char*, dan gas pada variasi perbandingan katalis dapat dilihat pada Tabel 39, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11. Menurut Gambar 9, dengan perbandingan massa bahan terhadap katalis 1:1 dihasilkan *yield* asap cair sebesar 41,81% pada bahan kayu jati sedangkan *yield* terendah 28,20% dengan perbandingan massa bahan terhadap katalis 1:¼ dengan menggunakan bahan kayu glugu.



Gambar 7 *Yield* Asap Cair Variasi Perbandingan Katalis

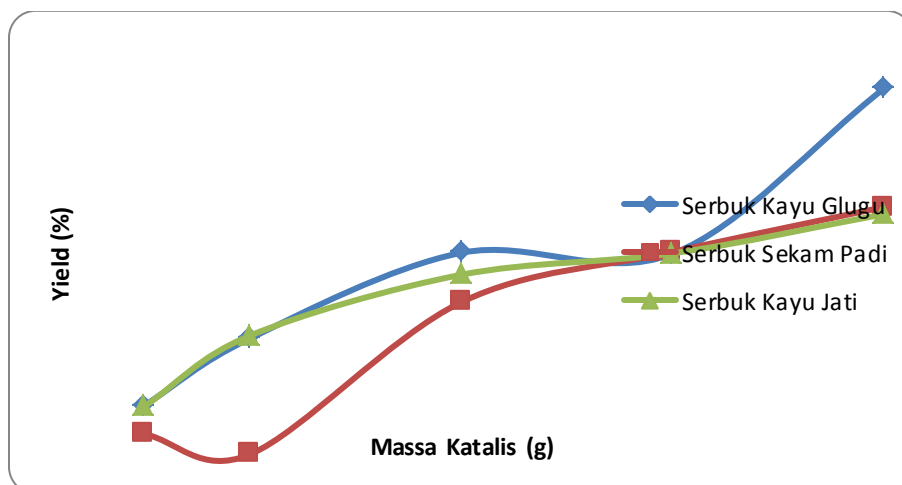
Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bahwa semakin besar jumlah zeolit yang ditambahkan sebagai umpan maka semakin kecil *yield char* yang dihasilkan. *Yield char* tertinggi pada perbandingan sekam 1 kg dan zeolit 125 gram yaitu sebesar 64,87 % pada kayu glugu dan

kayu jati. Sedangkan *yield char* terendah pada perbandingan 1 kg sekam dan 750 g zeolit yaitu sebesar 35,25%.



Gambar 8 *Yield Char* Variasi Massa Katalis

Sedangkan untuk pengaruh perbandingan massa sekam dan zeolit terhadap *yield gas* semakin besar perbandingan maka semakin besar pula *yield gas* yang dihasilkan. *Yield gas* tertinggi terjadi pada perbandingan massa kayu jati terhadap massa zeolit 1:1 yaitu sebesar 44,32%. *Yield gas* terendah terjadi pada perbandingan massa sekam terhadap massa zeolit 1000 g : 125 g atau 1 : ¼.



Gambar 9 *Yield Gas* Variasi Massa Katalis

## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pirolisis sekam padi menghasilkan *yield* asap cair tertinggi sebesar 44,75% pada suhu 600°C sedangkan pada variasi perbandingan katalis diperoleh *yield* sebesar 44,74% pada perbandingan sekam padi : zeolit = 1 : ¼.
2. Pirolisis kayu glugu menghasilkan *yield char* tertinggi sebesar 58,14% pada suhu 450°C sedangkan pada variasi perbandingan katalis diperoleh *yield* sebesar 64,87% pada perbandingan kayu jati dan kayu glugu: zeolit = 1 : 1/8.
3. Pirolisis kayu jati menghasilkan *yield* gas tertinggi sebesar 24,50% pada suhu 450°C sedangkan pada variasi perbandingan katalis diperoleh *yield* sebesar 30,35% pada perbandingan sekam padi : zeolit = 1 : 1.
4. Kadar CO<sub>2</sub> tertinggi sebesar 35,6625% pada pirolisis kayu glugu .
5. Senyawa terbanyak pada asap cair adalah asam asetat (25,71%), asam metakrilat 24,91%, dan krotanaldehida (21,39%).

### 5.2. Saran

Saran penulis untuk pembaca adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan bisa menggunakan variasi bahan yang lain
2. Agar lebih memperhatikan reaktor pirolisis agar tidak ada yang bocor sehingga gas tidak ada yang terbuang ke udara
3. Untuk pendingin yang digunakan diharapkan benar benar dingin agar proses kondensasi terjadi sempurna

Tetap memperhatikan keselamatan dengan selalu menggunakan masker dan sarung tangan saat proses pirolisis berjalan

## DAFTAR PUSTAKA

- Agra, I.B., Warnijati, S., dan Arifin, Z., 1973, Karbonatasi Tempurung Kelapa Disertai Penambahan Garam Dapur, *Forum Teknik*, 1-24.
- Arancon Jr., R.N., 1997, Asia-Pacific Forestry Sector Outlook Study : Focus on Coconut Wood, Asia-Pacific Forestry Sector Outlook Study Working Paper Series *Working Paper* No : APFSOS/WP/23, Forestry Policy and Planning Division, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- Bratzler, L. J., Spooner, M.E., Weathspoon, J.B., and Maxey, J.A., 1969, Smokeflavours as Related to Phenol, Carbonil, and Acid Content of Bologna. *Journal of Food Science* 34: 146-153.
- Basu, P., 2010, "Biomassa Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory", Elsevier, New York.
- Budhijanto, 1993, Pirolisis Serbuk Gergaji Cetak Secara Semibatch", Penelitian S1, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Chacha, M. G., Moleta, B., and Majinda, R.R.T., 2005, Antimicrobial and Radical Scavenging Flavonoids from the Steam Wood of *Erythrina latissima*, *Phytochemistry*, 66, 99-104.
- Darmadji, P. (1996) Aktivitas Antibakteri Asap Cair Yang Diproduksi Dari Berbagai Macam Limbah Pertanian. *Agritech*, 16 (4), 19-22.
- Demirbas, A., 2005, Pyrolysis of Ground Beech Wood in Irregular Heating Rate Conditions, *Analytical Applied and Pyrolysis Journal*, 73, 39-43.
- Fatimah, I., 2004, Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Komposisi BioFuel Hasil Pirolisis Serbuk Kayu, *Logika*, 1.
- Farag, I.H., La Clair, C.E., and Barrett, C.J., 2002, "Technical, Environmental and Economic Feasibility of Bio-Oil in New Hampshire's North Country", University of New Hampshire, Durham.
- Febri, J., Novesar., Z., 2003. Pengaruh Katalis dalam Pengolahan Limbah Plastik Low Density Polyethilen (LDPE) dengan Metode Pirolisis, *Jurnal Kimia Unand*, 2.
- Fengel, D., dan Wengener, G., 1995, Kayu, Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi Diterjemahkan oleh Hadjono Sastrohamidjojo, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Graham, R.G., Bergougrou, M.A., dan Freel, B.A., 1994, The Kinetics of Vapour-Phase Cellulose Fast Pyrolysis Reactions, *Biomass and Bioenergy*, 7, 33-47.

- Gercel, H.F., 2002, The Production And Evaluation of Asap cair from The Pyrolysis of Sun Flower-Oil Cake, *Biomass and Bioenergy*, 23, 307-314.
- Jensen, P.A., Sander, B., and Johansen, K.D., 2001, Pretreatment of Straw for Power Production by Pyrolysis and Char Wash, *Biomass and Bioenergy*, 20, 431-446.
- Mullen, C.A., Boateng, A.A., Goldberg, N.M., Lima, I.M., Laird, D.A., and Kevin, B.H., 2000, "Bio-oil and Bio-char Production from Corn Cobs and Stover by Fast Pyrolysis", *Biomass and Bioenergy*, 34, 67-74.
- Onay, O, Kockar, O.M., 2004, Fixed-bed Pyrolysis Of Rapeseed (*Brassica napus* L.), *Biomass and Bioenergy*, 26, 289-299.
- Palomar, R.N., and V. K. Sulc, 1983, Preservative Treatment and Performance of Coconut Palm Timber, Timber Utilization Division, PCA Zamboanga Research Center, Coconut Research and Deveopment Project.
- Sabarodin, A dan Dewanto, A. 1998. Pembuatan Minyak Bakar dari Sampah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif. Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta. Hal 9-12.
- Sensoz, S., Angin, D., Yorgun, S. 2000, Influence of Particle Size on the Pyrolysis of Rapeseed (*Brassica napus* L) : Fuel Properties of Asap cair.OsmangaziUniversity.Turkey.
- Wijaya, M., Noor, E., Irawadi. T.T., Pari, G., 2008, Perubahan Suhu Pirolisis Terhadap Struktur KimiaAsap Cair dari Serbuk Gergaji Kayu Pinus. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 2, 73-77.
- Wibowo, S., 2013, Karakteristik Asap Cair Serbuk Gergaji Sengon Menggunakan Proses Pirolisis Lambat, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 4.
- Wazyka, A., Darmadji, P. dan Raharjo, R., 2000, Aktivitas Antioksidan Asap Cair Kayu Karet dan Redestilatnya Terhadap Asam Linoleat, Seminar Nasional Industri Pangan, Yogyakarta.
- Yorgun, S., Sensoz, S.S., Kochar, O.M., 2001, Characterization Of The Pyrolysis Oil Produced In The Slow Pyrolysis Of Sunflower-Extracted Bagasse, *Biomass and Bioenergy*, 20, 141-149.
- Yulistiani, R., 1997, Kemampuan Penghambatan Asap Cair terhadap Pertumbuhan Bakteri Pathogen dan Perusak pada Lidah Sapi, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Zanzi, R., Sjostrom, K., and Bjornbom, E., 2002, Rapid Pyrolysis of Agricultural Residues at High Temperature, *Biomass and Bioenergy*, 23, 357-366.